

▲ ▲ ▲
▲ ▲ ▲
▲ ▲ ▲

MÉMENTO

de l'agronome



▼ ▼ ▼
▼ ▼ ▼
▼ ▼ ▼

CIRAD – GRET
Ministère des Affaires étrangères

Mémento de l'agronome

Ministère des Affaires étrangères

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)

Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET)

■ Les artisans du nouveau *Mémento de l'agronome*

Les étapes

L'édition de cette nouvelle version du *Mémento de l'agronome* a constitué une tâche de longue haleine – quatre années de travail –, fondée sur un large partenariat et organisée en plusieurs étapes :

> une enquête pilotée par Alain Grière et Lolita N'Sondé, réalisée en 1996 auprès des utilisateurs du *Mémento de l'agronome* a permis de définir les nouvelles orientations de contenu, en réponse aux demandes et aux besoins ;

> le dossier technique et financier a été monté par Laurent Bedu et Olivier Durand du ministère des Affaires étrangères, Elisabeth Paquot du GRET et Martine Séguier-Guis du CIRAD ;

> l'architecture a été définie progressivement par un groupe de travail constitué de Daniel Neu, Christian Castellanet, Bertrand Wybrecht du GRET, Jean-Philippe Tonneau et Jean-Claude Follin du CIRAD ;

> plus de 150 auteurs ont contribué à la rédaction et sont cités au début des différents chapitres ; de nombreuses institutions ont ainsi apporté leur pierre à l'édifice collectif : le CIRAD, le GRET, le MAE, mais également l'APDRA-F, le CNEARC, l'ESA d'Angers, l'ICRISAT, l'IRAM, l'IRD, l'INA-PG, VSF et la Chambre d'agriculture de l'île de la Réunion ;

> la relecture a été effectuée en plusieurs phases : chaque contribution a été relue une première fois – ce travail a mobilisé 35 relecteurs ; un échantillon de 20 textes a ensuite été envoyé dans 11 pays du Sud à de futurs utilisateurs – 113 personnes ont donné leur avis sur la qualité et la pertinence des textes ; enfin les textes ont été relus par grands ensembles thématiques – François Enguehard, ainsi que Cécile Fovet-Rabot, Philippe Lhoste et Jean-Pascal Pichot du CIRAD ont assuré une partie importante de ce travail ;

> la réécriture et la mise en forme éditoriale des textes a été assurée, pour le livre par Bertrand Wybrecht et Elisabeth Paquot du GRET, Marie-Agnès Leplaideur et Denise Williams d'IciLàBas média, et, pour les cédéroms, par Cécile Fovet-Rabot et Monique Loubet du CIRAD.

L'organisation

Pour mener cette édition, le travail a été organisé autour de trois pôles de responsabilités :

> les *chevilles ouvrières* qui ont mené à bien l'ensemble des étapes, de la définition progressive du contenu à la mise en forme finale, sont Bertrand Wybrecht, responsable du produit papier et Benoît Girardot et Cécile Fovet-Rabot, responsables des cédéroms ;

> un *comité éditorial* a piloté leur travail, précisé les orientations et les choix, et facilité le bon déroulement des activités : il était composé, pour le ministère des Affaires étrangères, d'Olivier Durand, Jean-François Gilon, Gilles Martin et Philippe Ospital ; pour le CIRAD de Philippe Lhoste, Jean-Pascal Pichot et Hervé Saint Macary ; pour le GRET de Daniel Neu et Elisabeth Paquot ;

> un *comité des sages* a supervisé la bonne réalisation de l'ensemble et donné de précieux conseils sur le contenu du livre et de ses cédéroms : Roger Balland (MAAPAR), Hervé Bichat (GRET), René Billaz, Michel Brochet (CNEARC), Ludovic Causse (FERT), Julien Coléou (INA-PG), Pierre Debouvry, Christian Fusillier (IRAM), Bernard Dadalt (MAE), Chantal Guiot (CTA), Franck Humbert (MAE), Ibrahim Kadar (CTA), Etienne Landais (ENSAM-INRA), Jacques Lefort (CIRAD), Ndiaga Mbaye (CORAF), François Peyredieu du Charlat, François Rossin (MAAPAR) et Gérard Winter (Inter Réseaux).



Éditorial

Mireille Guigaz

*Directrice du Développement
et de la Coopération technique
Direction générale de la
Coopération internationale
et du Développement
du ministère français
des Affaires étrangères*

En 1968, lorsqu'il édite la première version du *Memento de l'agronome*, le ministère français de la Coopération souligne le caractère stratégique de l'accès à l'information pour le développement rural. Pendant plus de trente ans, le *Memento de l'agronome* a effectivement représenté une référence essentielle pour tous les professionnels du développement rural.

D'ormais, les défis que doivent relever les pays du Sud s'inscrivent dans un contexte totalement différent de celui de la fin des années soixante : mondialisation des échanges, gestion durable de l'environnement, engagement des Etats, montée en puissance de la société civile et pauvreté extrême. Cette nouvelle donne amène les pays en développement, comme les organismes de coopération, à modifier profondément leur logique d'action.

Dans le même temps, la demande d'informations sur les questions techniques, économiques, d'organisation et de gestion n'a cessé de croître. Elle provient aussi bien d'acteurs de la société civile – associations de producteurs, organisations de solidarité internationale, bureaux d'étude locaux – que d'agents des services publics.

Bien qu'au fil des années et des éditions, le *Memento de l'agronome* se soit amélioré et enrichi, il était indispensable de diffuser au début de ce nouveau siècle un produit différent, même de répondre aux demandes d'information des divers acteurs du monde rural.

Cet ouvrage s'adresse aux techniciens, ingénieurs, formateurs et cadres associatifs impliqués dans le développement rural des pays en développement francophones. Il s'inscrit dans les orientations prioritaires de la Direction générale de la Coopération internationale et du Développement du ministère des Affaires étrangères, en faveur du renforcement des compétences des acteurs du développement rural, ainsi que de la production et diffusion de documents d'information et d'outils d'aide à la décision.

Il prend en compte la diversité des métiers du développement rural, leurs complémentarités et synergies. Il repose sur une approche globale des exploitations agricoles, considérées dans leur complexité, d'où l'importance des informations méthodologiques. Des thèmes comme la formation, l'organisation des paysans et la concertation entre acteurs, relativement absents des versions précédentes, sont largement traités dans cette nouvelle édition.

Cet ouvrage repose sur la mobilisation de plusieurs organismes aux côtés du ministère des Affaires étrangères : notamment le CIRAD, le GRET et le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales. Enfin, le partenariat créé avec le CTA¹ témoigne de la qualité internationale de ce livre et de l'importance des besoins effectifs auxquels il répond. Chacun de ces partenaires, en coopération avec les acteurs du Sud, a contribué intellectuellement et financièrement à la réalisation de cet ouvrage dont la conception ne s'est pas cantonnée à l'expertise des spécialistes, mais s'est aussi largement fondée sur des échanges entre professionnels du Nord et du Sud.

Je suis persuadé que cette nouvelle édition du *Memento de l'agronome*, complétée par une version multimedia conviviale et riche en informations, constituera un outil de travail très précieux pour tous ses lecteurs. Moins normatif que l'édition précédente, cet ouvrage rassemble des informations qui permettront aux praticiens de concevoir eux-mêmes les solutions techniques et organisationnelles aux problèmes auxquels ils sont confrontés.

Préface

François Rossin

*Ingénieur général du Gref
Chef de l'Inspection
générale de la coopération
internationale au ministère
de l'Agriculture,
de l'Alimentation, de la Pêche
et des Affaires rurales*

Il m'est impossible d'imaginer ma vie de coopérant sans le *M mento de l'agronome*. Depuis plus de 30 ans je ne m'en suis jamais séparé, comme pratiquement tous les assistants techniques du secteur rural, et j'ai maintes fois constaté combien nos collègues des pays du Sud en étaient demandeurs. J'en veux pour preuve le nombre impressionnant d'exemplaires que nous avons ramenés dans nos bagages pour nos amis nationaux, au retour des congés.

Le *M mento de l'agronome* a toujours eu sa place dans les bibliothèques des administrations centrales, sur les bureaux et dans les véhicules des agents de terrain. Que nous soyons ingénieurs ou techniciens, décideurs ou étudiants, formateurs ou chercheurs, il reste notre référentiel privilégié. Pour clarifier quelques points techniques, fixer les idées d'une étude d'installation, vérifier rapidement le bien fondé d'une analyse ou apprécier la pertinence d'une proposition, le *M mento* a toujours été le premier recours, avant de procéder d'éventuelles recherches bibliographiques plus poussées.

Avec ce nouveau sigle, il convenait de donner un second souffle au *M mento de l'agronome* et de l'adapter, au-delà des seules innovations techniques, à l'évolution des enjeux et des approches du développement rural et de la coopération.

La forte implication du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales à la réalisation de la nouvelle édition de cet ouvrage illustre son engagement significatif en coopération internationale, notamment par le biais de ses agents régulièrement mis à disposition de la coopération française.

Face aux questions actuelles sur la nécessaire amélioration des équilibres fondamentaux entre Etats, secteur privé et agriculteurs, ce ministère porte témoignage d'un système basé sur la réflexion commune, la confrontation et le dialogue permanents entre les pouvoirs publics et les organisations professionnelles agricoles. Il mobilise ses compétences pour participer à une coopération fondée sur une

relation de professionnels professionnels, et non pas seulement d'experts bénéficiaires. Ce type de partenariat entre personnes partageant des préoccupations analogues répond aux besoins de renforcement des capacités, tant des organisations d'agriculteurs que des organismes publics agricoles.

L'effort fourni pour accompagner la réalisation de cet ouvrage traduit notre volonté de partager cette vision de la concertation Etat/profession, au même titre que d'autres appuis spécifiques aux organisations professionnelles françaises ou des organismes internationaux.

Cette nouvelle édition du *Mémento de l'agronome* constitue une étape importante de l'appui aux acteurs du développement rural. Les responsables professionnels et les techniciens des organisations paysannes du Sud montrent un attrait croissant pour ce type de documentation : espérons qu'une réciprocity bien comprise les amènera devenir coauteurs des prochaines éditions.

Sommaire

INTRODUCTION	9
1. LES DIAGNOSTICS : COMPRENDRE POUR AGIR	25
1.1 Les diagnostics, outils pour le développement	27
1.2 Le diagnostic local des activités paysannes	45
2. INTERVENIR SUR L'ENVIRONNEMENT DES EXPLOITATIONS	69
2.1 Les interventions de développement rural	71
2.1.1 <i>L'articulation des niveaux d'intervention</i>	73
2.1.2 <i>La démarche projet</i>	81
2.2 L'appui aux organisations rurales et les services aux producteurs	109
2.2.1 <i>Les organisations paysannes et rurales</i>	111
2.2.2 <i>Les filières agricoles et alimentaires</i>	135
2.2.3 <i>Le crédit rural</i>	155
2.2.4 <i>La formation, l'information, les centres de services</i>	179
2.3 La gestion des ressources naturelles	199
2.3.1 <i>Le foncier et la gestion des ressources naturelles</i>	201
2.3.2 <i>La gestion des terroirs</i>	223
2.3.3 <i>L'aménagement des zones cultivées et la lutte contre l'érosion</i>	239
2.3.4 <i>La gestion des forêts et des pâturages</i>	257
2.3.5 <i>Les aménagements hydrauliques et les périmètres irrigués</i>	273
2.3.6 <i>Aménager les bas-fonds : l'exemple de l'Afrique de l'Ouest</i>	297
3 ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DES EXPLOITATIONS AGRICOLES	319
3.1 Analyser la diversité des exploitations agricoles	321
3.2 Analyser le fonctionnement d'une exploitation	345
3.3 Faciliter l'émergence et la diffusion des innovations	373

4 AGRICULTURE GÉNÉRALE	407
4.1 La mise en valeur des zones tropicales et les composantes du milieu	409
4.1.1 <i>Les modes de mise en valeur et leurs évolutions</i>	411
4.1.2 <i>Le climat et la production végétale</i>	433
4.1.3 <i>Le sol et la production végétale</i>	447
4.1.4 <i>Le fonctionnement d'un peuplement végétal cultivé</i>	483
4.2 Les démarches d'amélioration d'un système de culture	499
4.2.1 <i>Le raisonnement d'un itinéraire technique</i>	501
4.2.2 <i>L'expérimentation en milieu paysan</i>	511
4.2.3 <i>Les associations et les successions de culture</i>	537
4.2.4 <i>Les cultures pérennes et les systèmes agroforestiers</i>	553
4.3. Modifier les itinéraires techniques	565
4.3.1 <i>L'amélioration des plantes et la production de matériel végétal</i>	567
4.3.2 <i>L'amélioration des propriétés physiques du sol</i>	583
4.3.3 <i>La gestion de la fertilité</i>	601
4.3.4 <i>La gestion de l'eau</i>	643
4.3.5 <i>La lutte contre les mauvaises herbes</i>	663
4.3.6 <i>La protection contre les maladies et les ravageurs</i>	685
4.3.7 <i>La récolte, le stockage et la première transformation</i>	717
4.3.8 <i>La traction animale et la motorisation</i>	747
5. AGRICULTURE SPÉCIALE	773
5.1 Les plantes comestibles	775
5.1.1 <i>Les céréales</i>	777
5.1.2 <i>Les autres amylacées</i>	831
5.1.3 <i>Les légumineuses à graines</i>	865
5.1.4 <i>Les plantes oléagineuses</i>	879
5.1.5 <i>Les espèces fruitières</i>	929
5.1.6 <i>Les légumes</i>	1023
5.1.7 <i>Les plantes stimulantes</i>	1051
5.1.8 <i>Les plantes à épices</i>	1091
5.1.9 <i>Les cultures sucrières</i>	1109
5.2 Les cultures fourragères	1125
5.2.1 <i>Les caractéristiques générales</i>	1127
5.2.2 <i>Les espèces fourragères</i>	1141

5.3 Les plantes à autres usages	1155
5.3.1 <i>Les plantes textiles</i>	1157
5.3.2 <i>Les plantes à caoutchouc</i>	1185
5.3.3 <i>Les plantes insecticides</i>	1199
5.3.4 <i>Les plantes médicinales, cosmétiques, à parfum et à huiles</i>	1203
5.3.5 <i>Les plantes tannifères et tinctoriales</i>	1223
5.4 Glossaire	1231
6. L'ÉLEVAGE	1237
6.1 Le diagnostic des systèmes d'élevage	1239
6.2 Le diagnostic des systèmes d'alimentation	1267
6.3 Les produits animaux	1301
6.4 L'élevage et l'environnement	1313
6.5 La gestion des animaux et des troupeaux	1325
6.6 La santé animale	1355
7 ZOOTECHNIE SPÉCIALE	1391
7.1 L'élevage des herbivores	1393
7.1.1 <i>Généralités sur les ruminants</i>	1395
7.1.2 <i>L'élevage bovin</i>	1427
7.1.3 <i>Les élevages ovins, caprins et camélins</i>	1457
7.1.4 <i>L'élevage des autres herbivores</i>	1473
7.2 L'élevage des monogastriques non herbivores	1485
7.2.1 <i>L'élevage porcin</i>	1487
7.2.2 <i>L'aviculture</i>	1529
7.3 La pisciculture et les élevages non conventionnels	1569
7.3.1 <i>La pisciculture</i>	1571
7.3.2 <i>Les élevages non conventionnels</i>	1617
ANNEXES	1647
1. Formulaires	1649
2. Adresses utiles	1661
3. Index	1665
4. Sommaire des cédéroms	1683

Introduction

L'ORGANISATION DE L'INFORMATION DANS LE *MÉMENTO*

L'accès à l'information technique s'est amélioré ces dernières années. Il demeure néanmoins problématique pour les professionnels de terrain, et surtout pour ceux qui travaillent loin des centres urbains. Leur métier a également profondément évolué. La conception de cette nouvelle version du *Mémento de l'agronome* a tenu compte de ces deux constats. Cette édition 2002 remplace la précédente mise à jour (1991) de l'ouvrage, conçu à l'origine à la fin des années soixante.

La révolution informatique a bouleversé les supports de l'information. La plupart des équipes techniques sont désormais équipées de micro-ordinateurs qui leur permettent d'accéder à l'information sur support informatique. Mais il leur est souvent difficile de se connecter sur Internet et de télécharger des volumes importants d'information depuis des centres ruraux reculés. La nouvelle version du *Mémento de l'agronome* est donc conçue sur des support complémentaires, un livre et deux cédéroms.

● **Un nouveau contenu**

● **L'évolution des besoins du public**

Cette nouvelle version s'efforce de répondre aux besoins en information des agronomes et des agents de terrain. Leur métier a évolué : il porte sur des actions qui s'inscrivent dans des ensembles plus complexes. Ces professionnels sont de plus en plus amenés à travailler au sein d'équipes pluridisciplinaires ou en collaboration avec de multiples partenaires locaux.

Les sciences et les techniques de l'agronome ont également progressé depuis dix ans et cette nouvelle version en tient compte. Les évolutions ont essentiellement porté sur les questions d'approches et de méthodes, peu abordées dans les versions antérieures.

● **Des informations sur les techniques, les démarches, les méthodes**

Les informations techniques, qui constituent le corps de cette édition, ont été recentrées autour des activités agricoles. Cette réorientation permet d'apporter plus d'informations méthodologiques et d'ouvrir sur de nouveaux thèmes comme le crédit, le foncier, la formation, l'appui aux organisations paysannes, les filières et la démarche projet.

Les domaines où l'agronome peut désormais plus facilement faire appel à des hommes de l'art sont peu abordés dans l'ouvrage. C'est par exemple le cas de la construction ou de la mécanique, dont certains secteurs sont développés sous forme d'études de cas et de fiches techniques uniquement dans les cédéroms.

Le support cédérom permet aussi d'exploiter d'autres formes de présentation : illustrations, études de cas, reportages photographiques, textes d'approfondissement et parcours didactiques.

Cette nouvelle version a été rédigée dans une optique d'aide au raisonnement plus que dans un esprit de fourniture d'éléments prêts à l'emploi. Les recettes se révèlent en effet souvent inadaptées à la diversité des situations que rencontrent les professionnels de terrain.

● **Deux cédéroms accompagnent le livre**

● **Trois types d'information sur deux supports**

La classification en trois types d'information a pour but de présenter la variété des contenus et leur répartition par support.

● **Des informations techniques**

Les informations techniques constituent l'essentiel du contenu du *Mémento de l'agronome*. Il a été demandé aux rédacteurs de préciser le contexte et le domaine de validité des informations qu'ils apportent, afin d'éviter un emploi inadéquat des références citées.

● **Des éléments méthodologiques**

Les éléments méthodologiques sont la nouveauté de cette édition 2002. Ce changement répond aux demandes formulées par des agents de terrain au cours d'une enquête sur l'utilisation des versions précédentes de l'ouvrage.

Les éléments méthodologiques sont de deux natures : méthodes de diagnostic et méthodes d'intervention. Ces informations sont rassemblées, autant que possible, dans des chapitres voisins, de façon à disposer plus aisément par exemple des données sur l'analyse des exploitations agricoles et sur l'appui aux agriculteurs.

● **Des connaissances de base**

Les connaissances scientifiques indispensables pour raisonner en agronomie et en zootechnie ont été introduites dans le *Mémento de l'agronome*. Elles sont en particulier utiles à ceux qui sont sollicités sur le plan technique par les agriculteurs mais qui n'ont pas forcément la formation agricole ou agronomique *ad hoc*.

● **La complémentarité entre le livre et les cédéroms**

● **Des compléments d'informations techniques**

Pour les productions végétales et animales, l'essentiel de l'information technique est présent dans l'ouvrage. Le cédérom apporte différents types de compléments. Par exemple, des dossiers concernant certains ravageurs et certaines adventices sont disponibles sur le support informatique.

Pour les nouveaux champs d'intervention (le crédit, le foncier, la formation, les organisations paysannes, l'évaluation des projets), il n'était pas possible de faire figurer de nombreux éléments techniques dans l'ouvrage. Aussi ces contenus techniques ont-ils été développés principalement sur le support cédérom.

● **Des illustrations, des études de cas et des parcours didactiques**

Le nombre de pages du livre ne permet pas d'illustrer le propos par des exemples. C'est donc surtout sur le support cédérom que sont développés des études de cas et des parcours didactiques. Le support informatique accorde aussi une large part aux photographies et aux schémas.

● **Des textes de référence**

L'ensemble des textes présents dans le livre sont des textes originaux, commandés et rédigés pour cette nouvelle version. Il était souvent intéressant de les compléter par d'autres textes (articles de périodiques, extraits d'ouvrages, documents de travail), écrits pour d'autres circonstances, et que leurs auteurs ont accepté de voir reproduits sur l'un des cédéroms.

En résumé, l'essentiel des informations techniques et scientifiques sont présentes dans le livre. Le premier cédérom, par souci d'homogénéité, reprend l'intégralité du contenu de l'ouvrage, complète ce texte par de l'image, des études de cas, des fiches techniques, des bibliographies et des listes de sites web. Les parcours didactiques ou photographiques résument l'information méthodologique et l'illustrent. Le second cédérom fournit des textes de référence complémentaires et quelques logiciels.

● **L'organisation de l'information dans le livre**

● **Sept grandes parties**

Le *Mémento de l'agronome* est organisé en sept parties.

● **Les diagnostics : comprendre pour agir**

La première partie est consacrée aux diagnostics : réflexion sur la place des diagnostics dans les démarches de développement, présentation des différents éléments de diagnostic, description d'outils et de méthodes fréquemment employés au cours des diagnostics et exposé d'une démarche de diagnostic général des activités agricoles à l'échelle locale.

● **Intervenir sur l'environnement des exploitations**

La deuxième partie traite des interventions sur l'environnement de l'exploitation agricole, interventions qui ont pris une importance considérable ces dernières années. Des thèmes et des formes d'intervention très variés y sont abordés, d'une manière relativement succincte : le foncier et la gestion des ressources naturelles, les organisations paysannes et rurales, le crédit, les aménagements hydrauliques (périmètres irrigués et bas-fonds), la formation des agriculteurs.

● **Accompagner le développement des exploitations familiales**

La troisième partie concerne l'exploitation agricole et le processus d'innovation au sein de l'exploitation. Elle est construite autour des questions suivantes : comment analyser le fonctionnement des exploitations agricoles, comment appréhender leur diversité et comment raisonner l'introduction d'innovations dans les exploitations agricoles ?

● **Agriculture générale**

Cette quatrième partie rappelle les grands éléments de caractérisation du sol, du climat et du peuplement végétal. Elle est surtout consacrée à l'amélioration des systèmes de culture, à travers le raisonnement de l'itinéraire technique : préparation du sol, fertilisation organique et minérale, contrôle des mauvaises herbes, des ravageurs et des parasites...

● **Agriculture spéciale**

La cinquième partie présente les caractéristiques des principales plantes cultivées sous les tropiques, y compris les espèces fourragères.

● **Elevage**

La sixième partie, ainsi que la suivante, approfondissent l'amélioration des productions animales, selon un schéma similaire à celui retenu pour les productions végétales. Les éléments génériques de raisonnement de l'amélioration des systèmes d'élevage (amélioration de l'alimentation, de la génétique, de la santé...) constituent cette sixième partie.

● **Zootchnie spéciale**

La septième partie traite des spécificités des principaux groupes d'animaux élevés, y compris certaines espèces mal connues : aulacode, achatine...

● **Les informations complémentaires**

● **Les références bibliographiques**

Les références bibliographiques sont présentées au fur et à mesure des chapitres. Elles correspondent à des documents d'accès relativement facile (articles de revue, ouvrages). Les listes bibliographiques sont parfois plus complètes dans la version multimédia.

● **Les annexes**

Des annexes apportent des compléments d'information dans les domaines suivants : tables de conversion, formulaires mathématiques, et listes d'adresses.

● **Comment trouver l'information utile ?**

● **La recherche d'information dans l'ouvrage**

Trois portes d'entrée sont utilisables :

Le sommaire (en début d'ouvrage)

Il présente le plan développé de l'ouvrage. Son utilisation est pratique pour retrouver des chapitres méthodologiques.

L'index (en fin d'ouvrage)

Il est particulièrement adapté à la recherche d'une information liée à un concept (agroforesterie, système d'élevage...) et d'une information précise (ravageurs d'une culture donnée, définition d'un terme particulier...).

Les renvois (dans le texte)

Ils permettent au fil de la lecture de repérer les chapitres où se trouvent des éléments en relation avec les éléments lus. Ils sont d'autant plus utiles que de nombreux chapitres sont étroitement liés et que, dans la mesure du possible, les répétitions ont été évitées.

● **La recherche d'information dans les cédéroms**

Deux cédéroms accompagnent cet ouvrage. Le premier propose le texte imprimé et un ensemble de compléments liés aux divers chapitres du *Mémento de l'agronome*. Par ses possibilités de gestion de l'information et de navigation, le support informatique permet à l'utilisateur d'avoir accès aux compléments depuis tous les chapitres auxquels ils se rapportent. Ce cédérom n'est pas organisé linéairement, comme un ouvrage, il s'appuie sur une base de données qui permet à l'utilisateur de naviguer de façon aisée au sein du *corpus* proposé.

Le second cédérom complète le premier : il intègre un ensemble d'ouvrages, d'articles et de textes *in extenso*. Ce produit peut être assimilé à une bibliothèque virtuelle.

Afin de permettre au lecteur d'établir un lien facile entre les versions imprimée et informatique, le premier cédérom permet, comme pour la version imprimée, d'accéder aux contenus par le sommaire. En plus de ce mode d'accès à l'information, les outils de recherche suivants sont proposés :

Recherche par mot des titres

Ce mode d'accès permet d'identifier l'ensemble des médias (textes, images, parcours, etc.) dont le titre comporte le mot saisi par l'utilisateur. Il est particulièrement pertinent pour trouver rapidement un document en rapport avec un mot précis.

Recherche en texte intégral

Ce mode de recherche permet d'identifier les textes comportant un mot quelconque. Par rapport au mode de recherche précédent, il est plus puissant car il concerne l'ensemble du texte proposé.

Par la combinaison de ces divers modes d'accès à l'information, l'utilisateur peut explorer les contenus proposés dans la version multimédia selon de multiples voies. Pour en savoir plus, nous vous invitons à consulter les cédéroms.

LE MONDE CHANGE, LES AGRONOMES AUSSI

● **Le monde change**

● **Les révolutions technologiques**

Le monde change, et il change de plus en plus vite, à la vitesse exponentielle à laquelle progressent les sciences et les techniques. Ce rythme accéléré invite chacun d'entre nous à actualiser en permanence ses connaissances et ses savoir-faire. Il nous oblige à des remises en cause régulières.

La vitesse de ces changements est telle qu'on voit bien, désormais, qu'ils ne se limitent pas aux techniques et aux modes de production et d'échange. Les révolutions technologiques transforment radicalement les modes de vie, qui à leur tour, bouleversent l'organisation des sociétés. Pendant un temps, on a pensé que l'action pour le développement consistait, pour l'essentiel, à favoriser la diffusion des techniques. Il est clair désormais qu'il s'agit d'accompagner des changements sociaux. Cette prise de conscience a profondément modifié la conception des métiers du développement.

● **Les inégalités et les injustices perdurent**

Malgré ce que nous appelons le progrès, les inégalités entre les peuples ne cessent de s'accroître. Et, au Nord comme au Sud, le fossé se creuse entre les mieux nantis et les plus pauvres. Cette aggravation des injustices et les frustrations qu'elle engendre créent un terrain favorable à l'instabilité politique et aux conflits. Mais elle provoque aussi les révoltes qui fondent les engagements positifs : dans tous les pays, des hommes et des femmes se mobilisent pour un développement moins inégal sur notre planète. Les métiers du développement sont souvent à la frontière de cet engagement social et de leurs domaines techniques. Ils ne sont pas toujours, seulement, une affaire de compétences.

● **La mondialisation**

L'accélération de la circulation des informations, des capitaux et des biens, et la généralisation à l'échelle de la planète des règles du libre-échange ont engendré ce que l'on nomme désormais *la mondialisation*. Les uns s'en félicitent car elle facilite la production de plus de richesse. Les autres la condamnent car elle aggrave les inégalités et la domination d'un modèle culturel unique. Mais chacun s'accorde à dire qu'on ne peut plus l'ignorer. Entre autres, elle interdit désormais de penser les questions du développement, même au niveau local, sans se référer aux contextes macroéconomiques et politiques qui les déterminent.

L'accès à l'information via les moyens modernes de communication est une des grandes révolutions des dernières années du XX^e siècle. Il va puissamment contribuer à la diffusion des connaissances et des savoirs, et, espère-t-on, à l'avènement de la démocratie. Il est plus que jamais un enjeu majeur en matière de développement. Paradoxalement, l'accès d'un plus grand nombre à un service essentiel peut aussi être la source d'exclusions. La maîtrise de ces nouveaux outils est par ailleurs devenue un élément incontournable du métier de l'agronome.

● Les menaces sur l'environnement

La conférence de Rio, en juin 1992, a concrétisé une prise de conscience planétaire. Plus personne ne peut encore ignorer les dangers qui menacent la planète Terre, soumise à une croissance économique non maîtrisée. Dix ans plus tard, malgré de nombreuses avancées, le bilan des actions entreprises pour la défense de l'environnement mondial est décevant. Elles se heurtent toujours à des intérêts particuliers et nationaux. Les institutions et les règles qui permettraient de promouvoir un développement plus harmonieux de notre planète ne sont pas encore en place.

Cette prise de conscience est cependant à l'origine de nombreux bouleversements au sein des organismes de développement et des institutions de recherche agronomique. De nouvelles priorités, disciplines et méthodes de travail sont apparues. On n'utilise plus le mot «développement» sans lui adjoindre l'adjectif «durable». Les agronomes ne peuvent plus considérer un système de production agricole sans se préoccuper de ses conséquences sur l'environnement. Leur champ s'est élargi à la gestion des ressources naturelles. Ils ne peuvent plus ignorer les formes d'occupation et de mise en valeur de l'espace rural non agricole.

● La remise en cause du rôle de l'Etat

Le rôle effectif, mais aussi l'image de l'Etat ont changé au cours de ces trois dernières décennies.

Dans de nombreux pays, la crise du milieu des années soixante-dix, puis les programmes d'ajustement structurel ont considérablement réduit le train de vie des Etats. Ces derniers n'ont plus les moyens des interventions directes qui les caractérisaient dans les années soixante. En terme d'image, cette quasi-faillite s'est ajoutée au bilan très négatif de certains régimes. La corruption à grande échelle, l'incurie, et l'aggravation des tensions ethniques et sociales ont contribué à déconsidérer le rôle de l'Etat. La libéralisation prônée par les organisations de Bretton Woods (Fonds monétaire international et Banque mondiale) a ensuite légitimé la théorie de son effacement comme facteur favorable au développement économique.

On s'accorde aujourd'hui à reconsidérer le rôle de l'Etat, garant de l'état de droit et de la bonne gestion du «bien public», arbitre des enjeux sociaux, et lieu irremplaçable de la définition et de la coordination de politiques cohérentes. Le slogan de la «bonne gouvernance» a heureusement remplacé celui du «moins d'Etat».

Mais le renouveau du discours sur les Etats n'a pas encore rempli les caisses des plus pauvres d'entre eux, ni transformé d'un coup de baguette magique les plus corrompus et les plus inefficaces. L'Etat apparaît par ailleurs bien à l'étroit dans ses frontières. L'avenir, en ces temps de mondialisation, est pour une large part aux institutions régionales, sur le modèle de l'Union Européenne ou du Mercosur.

Au terme, provisoire, de cette évolution, le panorama institutionnel a changé sur le terrain. Les fonctions publiques ont réduit leurs effectifs. Des espaces laissés vides par l'Etat ont été occupés par des acteurs de la société civile. De nouvelles configurations d'acteurs ont vu le jour.

● **L'émancipation des femmes**

Les années quatre-vingts et quatre-vingt-dix ont été aussi celles de l'émergence et de la reconnaissance du mouvement d'émancipation des femmes. Cette évolution a été consacrée par la conférence de Pékin en 1996. Elle se concrétise désormais dans la plupart des programmes des agences internationales. Mais un long chemin reste à parcourir. Bon gré, mal gré, les agronomes, au sein desquels la parité n'est encore qu'un objectif lointain, ont pris conscience que non seulement les femmes représentaient un peu plus de la moitié de l'humanité, mais aussi, dans certains pays, beaucoup plus de la moitié des travailleurs de l'agriculture. Cette prise de conscience ne s'est pas toujours traduite dans les programmes d'appui.

● **Le poids démographique des jeunes**

Dans les pays en développement, les moins de vingt ans sont désormais la catégorie sociale majoritaire. Les agronomes, et bien d'autres techniciens du développement, n'ont pas encore intégré ce fait dans leurs pratiques. Ils ont bien été attentifs à la croissance démographique de ces pays, que soulignaient les démographes (le rythme de cette croissance décroît aujourd'hui). Ils ont, à juste raison, attiré l'attention du monde sur les problèmes de sécurité alimentaire qu'elle pouvait poser. Mais ils n'ont guère anticipé les bouleversements de la pyramide des âges résultant de cette croissance. Ils ne savent encore travailler, sauf exception, qu'avec des adultes.

● **Une croissance urbaine exponentielle**

Dans la plupart des pays, cette croissance démographique se conjugue avec l'exode rural pour donner naissance à des mégapoles et des réseaux de villes en perpétuelle expansion. Le temps des spécialistes du monde rural, qui se posaient en défenseurs des campagnes contre les villes, est passé. Le rural se pense désormais en fonction de l'urbain. La ville est un marché pour l'agriculteur, et inévitablement une référence en termes de rémunération du travail. Elle est le lieu de résidence d'anciens ruraux encore intimement liés à leurs villages d'origine et impliqués dans leur développement.

● **Les écarts de productivité se creusent entre agricultures du Nord et du Sud**

Les écarts de productivité entre les agricultures des pays industrialisés et celles des pays du Sud sont considérables, et ils s'accroissent rapidement : les premières disposent de capacités d'investissement et d'un niveau d'infrastructures incomparablement plus élevés que les secondes ; les efforts des organismes de recherche publics et privés sont très majoritairement orientés à leur profit ; elles bénéficient de systèmes d'aide et de soutien nationaux ou régionaux conséquents.

Les systèmes les plus productifs peuvent imposer leurs prix sur des marchés internationaux de plus en plus ouverts et concurrencer les agricultures des pays en voie de développement sur leur propre marché intérieur. Cette concurrence est d'autant plus vive que les accords internationaux signés à l'Organisation mondiale du commerce, (l'OMC) ou ceux de libre-échange (tels que l'ALENA entre le Mexique et l'Amérique du Nord) ou les accords de Cotonou (entre l'Europe et les Pays ACP) conduisent les pays à diminuer leurs protections douanières.

L'évolution des règles du commerce international apparaît comme un enjeu tout aussi important que les efforts qui visent à améliorer le niveau et l'efficacité des systèmes d'aide au développement rural des pays du Sud.

● **Les évolutions des acteurs et des principes d'action**

● **De nouveaux protagonistes**

Le développement agricole était surtout, il y a vingt-cinq ans, l'affaire de l'Etat. Ses services ou ses sociétés publiques intervenaient directement auprès des paysans. Ils leur apportaient tout ce dont ils étaient supposés avoir besoin : infrastructures, techniques, intrants, logistique, crédits, clients, modèle d'organisation. Leur mode d'action privilégiait les projets de grande dimension.

Aujourd'hui, de multiples acteurs sont à l'œuvre. Les organisations paysannes se sont développées selon une grande diversité de modèles, de dimensions, et de fonctions. Les mieux organisées d'entre elles sont à même de gérer des services destinés à leurs membres. Elles sont capables de négocier la maîtrise d'ouvrage de programmes de développement avec des partenaires institutionnels – l'Etat ou les bailleurs de fonds – ou d'en piloter la mise en œuvre en faisant appel à des prestataires privés. Ces derniers se sont multipliés, sur le modèle associatif (les ONG d'appui), ou sur celui de l'entreprise de service.

Selon les contextes, certaines de ces organisations paysannes se sont focalisées sur des objectifs liés à la production agricole de leurs adhérents et à son environnement d'amont et d'aval. Elles se sont parfois spécialisées sur une filière agricole spécifique. On parle alors plutôt d'organisations de producteurs. D'autres prennent en compte l'ensemble des préoccupations des ruraux du territoire sur lequel elles interviennent. Ces organisations territoriales se mobilisent plutôt sur les infrastructures, les équipements sociaux, l'organisation des services aux populations, l'aménagement et la gestion de l'espace. Elles partagent ces domaines d'intervention avec les collectivités territoriales, dont la montée en puissance est également un fait marquant de ces toutes dernières années, plus particulièrement en Afrique de l'Ouest.

A côté de ces organisations de producteurs et de ces organisations territoriales, le panorama des intervenants du développement agricole et rural de nombreux pays est marqué par le développement des ONG. Ces organisations non gouvernementales sont, elles aussi, d'une grande diversité. On désigne sous ce vocable à la fois de vastes mouvements de citoyens mobilisés autour d'une cause qui leur tient à cœur, des organisations de personnes regroupées pour défendre des intérêts communs ou ceux de groupes sociaux particuliers, et des petites équipes de cadres organisées sur un mode associatif pour, à la fois, concrétiser leurs engagements militants et valoriser leurs compétences professionnelles.

● **De nouveaux principes d'action**

Ce bouleversement du paysage institutionnel et le bilan décevant de ces deux dernières décennies ont contribué à une évolution importante des principes d'intervention en matière de développement. Cette évolution, qui n'est pas spécifique au domaine agricole ou rural, n'est pas exempte d'effets de mode. Ses principes annoncés sont encore inégalement appliqués. On peut tenter de les résumer en trois grands axes.

● **Priorité aux effets durables et appui aux acteurs locaux**

Les critères d'évaluation des actions de développement ont évolué. Les résultats immédiats sont moins prépondérants ; l'efficacité ne se résume plus au respect des budgets programmes ; il est de plus en plus question d'impact et de «durabilité» en termes écologiques comme en termes économiques. A l'aune de ces derniers critères, les projets mis en œuvre par des équipes éphémères et pressées par le temps, grandes pourvoyeuses de décisions autoritaires et de «cadeaux», ont montré leurs limites.

Les interventions de développement cherchent, de plus en plus, à s'appuyer sur le dynamisme des personnes et des groupes qui structurent la société locale (on parle d'acteurs du développement). Les «projets» ne cherchent plus à offrir eux-mêmes des services mais visent la création d'institutions capables de les apporter «durablement» aux populations.

Cette stratégie conduit souvent à une diversification et à une spécialisation des outils financiers selon leurs objectifs : le développement des activités productives, celui des infrastructures économiques ou celui des équipements sociaux ne se financent plus de la même façon. Les projets mettent de moins en moins l'animation, le conseil et le financement «dans le même panier». La création d'institutions financières durables et adaptées devient une de leurs priorités les plus fréquentes.

● **Les démarches participatives**

La diffusion de recettes «universelles», méprisantes à l'égard des contextes locaux, ou la réalisation d'infrastructures imposées aux populations ont été des fiascos. On en tire progressivement les leçons. Les «démarches descendantes» qui accordaient le monopole de la conception et de la décision aux bailleurs de fonds, aux Etats et à leurs experts sont remises en cause. On tente de leur substituer des «démarches ascendantes» qui vont des populations aux décideurs et qui permettent d'intégrer les initiatives des premières dans les démarches des seconds.

La mise au point et la diffusion des méthodes «participatives» ont accompagné ce passage des «logiques d'offre» aux «logiques de demande». Elles n'ont pas toujours été exemptes ni de naïveté ni de populisme. Elles ont parfois confondu le recueil d'opinion et l'aide à la formulation d'un jugement. Elles butent également souvent sur des fonctionnements sociaux très hiérarchisés, et certains de leurs outils restent ceux d'experts étrangers pressés par le temps. Mais, au final, ces méthodes ont permis de réelles avancées. Elles ont facilité l'organisation du dialogue entre populations et «développeurs». Elles ont aussi rappelé que la qualité de ce dialogue n'était pas seulement un problème de méthode, mais aussi une question de régulation de pouvoir et de réduction des asymétries entre participants.

Ces méthodes proposent aujourd'hui des démarches et des gammes d'outils variés. Mais toutes insistent sur l'importance des phases de diagnostic qui doivent impérativement précéder les actions. Chaque discipline a ainsi développé ses propres outils de diagnostic «participatif».

● **La concertation et la coordination**

La priorité donnée aux logiques d'acteurs et aux démarches ascendantes impose d'inventer de nouvelles formes de concertation pour assurer la mise en cohérence des actions. L'organisation hiérarchique des services de l'Etat et des bailleurs de fonds, qui peinaient déjà pour assurer cette fonction, n'est plus adaptée dans le contexte actuel. On lui cherche désormais des alternatives en tentant de construire cette cohérence au sein d'institutions de concertation, supposées représenter l'ensemble des acteurs concernés par un territoire ou par un domaine d'intervention. L'Etat est censé y exercer ses prérogatives politiques sans empiéter sur l'autonomie des autres acteurs. On espère, dans les pays où d'importantes réformes de décentralisation sont à l'œuvre, que les collectivités territoriales y joueront un rôle majeur dans les dispositifs concertés sur un territoire donné.

Mais les conditions de ce passage du développement «administré» au développement local ou au développement concerté ne sont pas toujours réunies. Elles nécessitent un climat politique relativement serein, des services publics suffisamment fonctionnels et des organisations représentatives déjà puissantes et clairvoyantes. Sur ce dernier point, les opérateurs de projets rechignent parfois à favoriser l'émergence et la progression d'organisations locales de grande dimension, susceptibles de contester un jour leur pouvoir.

● **Des approches et méthodes de développement différentes**

● **Des démarches plus intégrées**

Les initiatives qui visent l'amélioration des techniques de production sont de plus en plus rarement conduites isolément. Elles sont intégrées dans des démarches plus globales qui s'organisent soit autour d'un produit ou d'une production (les approches «filières»), soit à partir d'un espace géographique pertinent (les approches territoriales). Ces deux grandes approches ne sont pas antinomiques et peuvent se combiner.

● **Les approches «filières»**

Les approches «filière» s'efforcent d'améliorer à la fois la production et la valorisation d'un produit ou d'une famille de produits pour accroître le revenu des producteurs. Les stratégies d'amélioration de la production qu'elles mettent en œuvre intègrent des critères liés à la mise en marché. L'amélioration de la valorisation des produits se construit en général à partir de deux axes complémentaires. Le premier consiste à améliorer les rapports de force au sein de la filière en faveur des producteurs. Cela passe obligatoirement par la constitution d'organisations de producteurs fortes et efficaces. Le second cherche à accroître l'efficacité globale de la filière, du producteur au consommateur. Il implique la création d'instances interprofessionnelles capables de concevoir et de mettre en œuvre des réformes «gagnant-gagnant». Celles-ci, comme leur nom l'indique, doivent procurer des avantages à tous les acteurs de la filière.

● **Les approches territoriales**

Les approches territoriales visent, sur un territoire donné, à améliorer les conditions de vie des ruraux et pas seulement les revenus issus des productions agricoles. Ces deux objectifs sont en général «triplement liés» :

- > ils ont souvent des impacts positifs réciproques et des conditions requises identiques ;
- > ils sont étroitement imbriqués au sein des logiques paysannes que ces approches s'efforcent d'accompagner ;
- > les volets qui visent la valorisation des ressources naturelles et l'amélioration des infrastructures, fréquents au sein de ces approches, impliquent souvent de s'intéresser au «rural» pour mieux travailler sur «l'agricole».

Les volets agricoles menés dans le cadre de ces approches s'appuient sur la cohérence de l'organisation sociale locale pour travailler plus efficacement avec les acteurs locaux.

● **Accompagner les innovations**

L'organisation du développement agricole a longtemps séparé assez nettement deux fonctions, la production de références, proche de la recherche, et la diffusion de ces références, confiée à ce qu'on appelait la «vulgarisation». Et, pendant toute une période, les échecs du développement ont été imputés à la seconde.

Ce point de vue a évolué. Tout d'abord, on a admis que la qualité des références pouvait être en cause. «Agronomiquement correct» n'est pas toujours synonyme «d'approprié». Les agronomes ont progressivement perfectionné leurs méthodes pour mettre à la disposition de leurs interlocuteurs paysans des références plus adaptées. Il est apparu également que la diffusion d'une innovation n'était pas essentiellement ou pas seulement une question de circulation de l'information et de démonstration. Les agronomes et les sociologues ont travaillé sur les mécanismes et les conditions de cette diffusion.

● **Valoriser les savoirs paysans**

Les démarches et les méthodes qui visent à mettre à la disposition des paysans des références nouvelles adaptées à leurs conditions de production procèdent aujourd'hui de trois principes :

- > les agronomes ne sont pas les seuls à pouvoir inventer ou diffuser de telles références. Les paysans sont inventifs et ceux qui voyagent sont des vecteurs naturels de l'innovation. L'échange et le voyage accompagné peuvent aussi être une façon de mettre des références nouvelles à la disposition des paysans. L'analyse fine des pratiques existantes peut également mettre au jour des innovations ;
- > pour proposer des solutions appropriées à une réalité il faut comprendre comment elle fonctionne. Les agronomes ont perfectionné leurs outils d'analyse et de diagnostic à différentes échelles : la parcelle, l'exploitation, la petite région... En comprenant mieux les «logiques paysannes» et le fonctionnement des systèmes de production, ils ont mis en évidence que la productivité par unité de surface n'est pas toujours le premier objectif des paysans. La productivité du travail, la minimisation des risques climatiques, la gestion de la trésorerie, les stratégies d'appropriation foncière peuvent constituer pour eux des enjeux plus importants et les agronomes commencent à prendre en compte ces critères dans l'élaboration des références ;

- > en associant les paysans à l'expérimentation et à la mise au point des innovations, on augmente les chances qu'elles leur conviennent. Il s'agit donc d'établir les diagnostics sur un mode participatif, d'expérimenter en milieu paysan, de lier plus étroitement des démarches de recherche et de développement, et d'associer les responsables des organisations paysannes à la définition des orientations des politiques de développement.

● **Créer les conditions de l'innovation et de sa diffusion**

La vulgarisation a longtemps été organisée pour diffuser directement et le plus largement possible une série de messages peu nombreux, supposés convenir au plus grand nombre possible de paysans. Sa conception est désormais moins rigide. On tente d'adapter son organisation en fonction des milieux et des systèmes de production. Quelques grandes tendances sont à l'œuvre :

- > dans les régions où les systèmes de production sont variés, on tente d'offrir une large gamme initiale de propositions. Cette offre est ensuite développée et orientée en fonction de l'accueil que reçoivent les différentes propositions ;
- > les stratégies de diffusion dépendent de la nature des innovations. Celles qui ne perturbent pas les systèmes de production se diffusent assez spontanément, dès que les paysans y voient leur intérêt. Les changements plus radicaux de ces systèmes impliquent de travailler en amont, sur les conditions de leur adoption ;

En amont de l'introduction d'une innovation

Les processus d'intensification par l'usage des intrants nécessitent de minimiser les risques climatiques et sanitaires, d'organiser l'amont et l'aval de la production et de proposer les formes de crédit adaptées. Pour tester leur pertinence, il ne suffit pas de proposer des itinéraires techniques adaptés et de les rendre accessibles par des actions de formation et d'appui. Il faut aussi proposer des formes d'organisation qui permettent l'accès au crédit et qui sécurisent les approvisionnements et la mise en marché.

- > au-delà de cette approche plus globale d'une innovation particulière, d'autres réflexions portent sur les facteurs favorables au progrès technique en milieu paysan. Elles amènent certains projets ou institutions à travailler très en amont de la production, sur les questions d'éducation, de formation, de circulation de l'information, de valorisation culturelle des savoir-faire techniques ;
- > enfin, depuis longtemps, la plupart des projets de développement agricole tentent d'organiser des relais entre leurs techniciens et les paysans. De multiples solutions ont été expérimentées : relais collectifs ou individuels, «paysans-relais» ou «paysans-innovateurs». Il n'existe pas de solution universelle. Au demeurant, la qualité et la pérennité de ces relais posent souvent la question de la rémunération de leurs services.

● **Les mutations du métier d'agronome**

● **Des employeurs nouveaux et variés**

● **Une bonne capacité d'adaptation**

Pendant longtemps l'Etat a été le principal, voire l'unique employeur des agronomes des pays en voie de développement. On reproche aujourd'hui à l'administration agricole et aux sociétés nationales de développement d'avoir été de grosses machines bureaucratiques peu efficaces. Cette critique est probablement trop systématique. Mais globalement le fonctionnement très hiérarchisé de ces structures ne favorisait guère l'initiative de leurs cadres intermédiaires. Ils étaient surtout chargés d'appliquer des procédures ou des cahiers des charges conçus sans eux.

Le paysage est aujourd'hui beaucoup plus diversifié. Les agences publiques ou parapubliques de développement, à la tête de plusieurs centaines de techniciens, n'ont certes pas totalement disparu. Mais elles recrutent peu de jeunes cadres. Majoritairement les nouveaux employeurs des agronomes sont des organismes privés, ONG, organisations paysannes, bureaux d'études, entreprises de l'amont ou de l'aval de l'agriculture. Ce sont le plus souvent des structures de petite ou moyenne dimension. Leurs agents doivent faire preuve de plus d'autonomie et d'initiative. Ils doivent souvent être plus polyvalents, même si les postes de spécialistes n'ont pas pour autant totalement disparu.

L'activité de ces nouveaux acteurs, comme celle des anciennes structures publiques, dépend souvent de projets financés par des bailleurs étrangers. La durée de ces projets rythme la vie de ces organisations et contraint la carrière des agronomes. Ces derniers doivent être capables de changer régulièrement de poste et de lieu de travail. Leur capacité d'adaptation devient une qualité majeure face à la diversité de leurs employeurs potentiels et de leurs modes d'intervention.

Certains de ces employeurs interviennent sur des sujets techniques très ciblés, les autres selon des approches très globales. Ils peuvent conduire leurs propres projets, ou au contraire se spécialiser dans l'accompagnement de ceux de leurs partenaires. Ils obéissent à des logiques commerciales ou accomplissent des missions de service public. Ils utilisent des agronomes à des tâches techniques proches du terrain et de la production, dans des fonctions plus commerciales en amont ou en aval de l'agriculture, dans des rôles liés à la conception et à la mise en œuvre de stratégies globales d'intervention, ou bien encore dans des fonctions de pédagogues ou de formateurs.

● **Compétences techniques, pluridisciplinarité et relations avec les producteurs**

Les échecs de ces dernières décennies en matière de développement agricole ont été attribués parfois au comportement trop techniciste des agronomes, régulièrement aux imperfections des méthodes et des outils d'intervention, et souvent aux défaillances ou aux dysfonctionnements de certaines institutions-clés. Fondées ou pas, ces explications contribuent à dévaloriser les connaissances et les savoir-faire strictement techniques. Sans tomber dans l'excès inverse, il faut réaffirmer l'indispensable pertinence des contenus techniques. Il existe d'autres métiers indispensables au développement rural, en dehors de ceux de l'agronomie. Mais les agronomes doivent garder leur spécificité et continuer à cultiver leurs propres domaines.

Cette remarque va de pair avec un autre constat. Les professionnels du développement agricole ne peuvent plus travailler de façon isolée. Leur travail nécessite de combiner au moins cinq disciplines : l'agronomie, les sciences de l'environnement, l'ingénierie sociale, l'économie et les autres sciences sociales. Chaque spécialiste doit disposer au minimum des clefs et des langages qui lui permettent de communiquer avec les quatre autres.

Ils ont par ailleurs un point commun : ils s'efforcent d'accompagner l'évolution de producteurs agricoles et la qualité de leurs relations avec ces derniers est déterminante pour l'efficacité de leurs actions. Cette qualité dépend de celle de leurs outils et de leur méthode de communication, mais aussi, essentiellement, de la conception qu'ils ont de leur rôle. L'époque où les « techniciens » se pensaient omniscent et considéraient les paysans comme des ignorants est révolue. Ils s'accordent aujourd'hui à reconnaître les connaissances et les savoir-faire paysans.

● **De nouveaux outils et démarches**

● ***Diagnostic, expérimentation en milieu paysan, diversité de l'offre technique***

L'agronome doit d'abord identifier les thèmes techniques qui correspondent aux blocages réels des systèmes de production sur lesquels il travaille, et à même d'aboutir à des propositions accessibles aux paysans. Les outils de diagnostic sont la clef de ce premier enjeu.

Il doit ensuite savoir développer ces thèmes en contribuant à la mise au point d'une gamme de solutions et d'itinéraires techniques efficaces et appropriables. Les méthodes d'expérimentation en milieu paysan sont alors un complément indispensable aux connaissances agronomiques de base.

L'agronome a besoin pour effectuer ce travail de références et d'approches adaptées au milieu où il intervient. La majorité de celles dont il dispose provient d'un modèle d'intensification agricole dominant. Ce modèle repose sur la mécanisation, les intrants et l'introduction d'un matériel végétal capable de valoriser l'une et l'autre. Il n'est pas adapté à toutes les agricultures, pour des raisons à la fois écologiques et économiques. On le mesure mieux aujourd'hui. Des alternatives résident dans la maîtrise de systèmes agro-écologiques plus complexes. Mais l'offre de références techniques n'est pas encore suffisamment diversifiée au regard de la diversité des systèmes de production et de leurs contraintes.

● ***L'appui aux organisations locales, la démarche « projet » et le multipartenariat***

La majorité des agronomes qui travaillent « sur le terrain » sont impliqués dans des démarches d'appui à des acteurs locaux, paysans, groupes de producteurs, organisations paysannes. Ils mettent en œuvre ou accompagnent des projets et ils travaillent de plus en plus en partenariat avec plusieurs organismes d'appui au développement. En plus de leur bagage technique spécifique, ils ont désormais besoin, au moins de connaître, parfois de maîtriser, des outils méthodologiques généralistes. Presque tous auront recours à ce type d'outils à un moment de leur carrière pour mieux communiquer, mieux former ou pour aider leurs interlocuteurs à mieux organiser leurs associations et leurs activités. Beaucoup en auront l'usage pour participer à la conception ou à la gestion d'opérations ou de partenariats complexes.

Cette version du *Mémento de l'agronome* s'efforce de tenir compte de ces évolutions et de ces nouveaux besoins. Elle accorde une place accrue aux questions de méthodes et de démarches. Elle reste cependant centrée sur le cœur du métier de l'agronome. Les chapitres qui traitent des outils et des méthodes «généralistes» visent plutôt à donner aux lecteurs l'envie d'approfondir leurs connaissances sur ces sujets par des formations complémentaires et par d'autres lectures.



1 LES DIAGNOSTICS : COMPRENDRE POUR AGIR

1.1 Les diagnostics : outils
pour le développement

1.2 Le diagnostic local
des activités paysannes

Les diagnostics, outils pour le développement

À partir des contributions de P. Lavigne-Delville (GRET) et B. Wybrecht (GRET)

LA PLACE DES DIAGNOSTICS

Un diagnostic est un jugement porté sur une situation à partir de l'analyse d'indicateurs ou de paramètres. Toute intervention en milieu rural repose sur une analyse explicite ou implicite de la situation qui permet d'identifier des facteurs défavorables et de proposer des actions modifiant ces facteurs. De la justesse du diagnostic dépend en partie la pertinence des actions : si l'on se trompe dans l'analyse d'un problème, il est peu probable qu'on arrive à le résoudre. Or, les situations agraires sont très diversifiées. Une bonne capacité d'analyse des situations est donc nécessaire. Elle repose sur quelques principes.

● *Une vision d'ensemble de l'agriculture locale*

Cette vision est nécessaire pour définir et piloter correctement des interventions de développement. Définir des orientations demande de cerner le contexte dans lequel on intervient : il s'agit d'avoir une représentation, simplifiée mais opératoire, de la réalité. Or, une agriculture locale est une réalité complexe, dont les multiples dimensions sont étroitement articulées. Aucune action, même la plus sectorielle, ne peut faire l'économie d'une caractérisation d'ensemble du système agraire¹, des systèmes de production² et de leurs dynamiques...

Pour se diffuser, une innovation, technique, organisationnelle ou institutionnelle doit nécessairement correspondre aux intérêts d'une partie au moins des agriculteurs. Ces intérêts se déterminent par rapport à leur propre situation économique et sociale, et par rapport au milieu en question. Une variété, un itinéraire technique, voire un mode d'organisation, ne sont jamais adaptés dans l'absolu. Leur pertinence se discute par rapport à une réalité agraire et à des types d'exploitations agricoles spécifiques.

1 Un système agraire est un mode d'exploitation du milieu, historiquement constitué et durable, un système de forces de production adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné et répondant aux conditions et besoins sociaux du moment. Analyser et concevoir en termes de système agraire l'agriculture pratiquée en un lieu donné et à un moment donné consiste à la décomposer en deux sous-systèmes principaux : «l'écosystème cultivé» et «le système social productif», les deux sous-systèmes devant être étudiés sur le plan de l'organisation, du fonctionnement ainsi que de leurs interrelations (MAZOYER et ROUDART, 1997, *Pourquoi une théorie des systèmes agraires ?*, in Cahiers Agricultures 1997; 6: 591-5).

2 Système de production : le système de production d'une exploitation se définit par la combinaison (la nature et les proportions) de ses activités productives et de ses moyens de production (MAZOYER et ROUDART, 1997, op.cité).

Un diagnostic peut être conduit à des degrés de précision divers et il n'est pas besoin de tout savoir d'un système agricole pour identifier des axes de travail pertinents. Dans chaque situation, il faut arbitrer sur le degré de finesse du diagnostic et sur les thèmes à approfondir en fonction des interventions possibles, des connaissances déjà disponibles et des contraintes de durée et de moyens.

Il convient donc dans chaque situation particulière de trouver le «degré optimal d'ignorance», qui évite de s'enliser dans l'analyse préalable sans pour autant agir en aveugle. Cette «ignorance optimale» est délicate à définir : elle relève en partie de l'expertise propre du technicien et surtout elle ne se vérifie qu'*a posteriori*, selon que le déroulement de l'action valide ou remet en cause l'analyse réalisée. Un diagnostic initial n'est donc pas nécessairement long : un cadrage peut suffire, s'il se fonde sur des indicateurs pertinents, et si le déroulement de l'action permet de tester les hypothèses que l'on en tire et d'affiner progressivement le diagnostic.

● ***Approfondir l'analyse***

Le diagnostic initial fournit une première vision de la réalité sur laquelle on intervient. En développement agricole, le diagnostic des activités agricoles à l'échelle locale remplit en général bien cette fonction.

Mais il faut souvent compléter ces éléments généraux qui permettent de bien cadrer l'intervention par des éléments plus précis, liés aux domaines d'intervention : un organisme projetant de diffuser des plants d'arbres a tout intérêt à approfondir l'analyse de la gestion locale du foncier, alors qu'un opérateur de crédit va développer l'analyse des activités rémunératrices sous plusieurs angles : rentabilité des activités, risques, modes de financement.

● ***Confronter les analyses des agriculteurs et des techniciens***

Le diagnostic est la première étape d'une négociation et d'un travail collectif, associant agriculteurs et techniciens. Il fournit l'analyse à partir de laquelle seront précisées les interventions et doit donc être partagé par les différents partenaires du développement. Quelle que soit la valeur d'une analyse, si les conclusions qui en sont tirées ne sont pas suffisamment communes aux différents partenaires, le diagnostic ne pourra pas constituer une base sérieuse de collaboration.

Ceci ne veut pas dire que le diagnostic doit être de bout en bout réalisé conjointement ou qu'il doit être un auto-diagnostic, dont les techniciens doivent accepter les conclusions telles quelles. L'expérience et la capacité d'analyse des paysans doivent être prises en compte à leur juste valeur, encore souvent sous-estimée. Les paysans connaissent leurs réalités et les analysent de manière variable, en fonction de leur situation socio-économique et des modèles théoriques qu'ils se sont forgés. Le diagnostic du technicien repose sur des critères qui ont également leur légitimité et qui ne sont pas les mêmes que ceux des paysans.

Savoirs techniques, savoirs paysans

Le dialogue entre paysans et techniciens fait se rencontrer deux systèmes de savoirs. Les paysans disposent d'une connaissance fine de leur écosystème et de savoirs techniques élaborés. Ces savoirs qui reposent sur l'expérience constituent un ensemble de connaissances opérationnelles, et sont à la base de leurs pratiques culturelles. Mais ils constituent en même temps des systèmes de sens, qui permettent d'interpréter ces pratiques. C'est donc en grande partie par leur intermédiaire que les savoirs scientifico-techniques proposés seront évalués et interprétés par les paysans.

Alors que les savoirs scientifico-techniques sont standardisés, uniformisés et formalisés, les savoirs techniques paysans sont localisés, contextualisés et empiriques. Ils sont de plus hétérogènes et inégalement répartis selon le sexe, le statut, le milieu social, la trajectoire personnelle. A côté de savoirs communs, largement partagés, il existe des savoirs et des connaissances spécialisées. Enfin, les savoirs techniques paysans se transforment, évoluent et intègrent de nombreux acquis issus tant de l'expérience que de contacts avec d'autres paysans ou des savoirs technico-scientifiques. Il est indispensable de prendre au sérieux ces savoirs, trop souvent négligés au nom de la supériorité du savoir technico-scientifique.

Le dialogue approfondi avec les paysans est une dimension incontournable du travail de l'agronome de terrain. Pour autant, il ne faut pas tomber dans une idéalisation des savoirs locaux, qui ne sont pas toujours efficaces et ne permettent pas de répondre à tous les problèmes rencontrés par les paysans. Des apports de savoirs et de techniques extérieures, bien adaptés aux situations concrètes des ruraux, sont nécessaires.

Ni les paysans ni les techniciens n'ont le monopole de la vérité. Les analyses et les conclusions des uns et des autres doivent être discutées ensemble et surtout vérifiées empiriquement. La confrontation des points de vue autour d'objets communs permet d'élaborer une vision commune de la situation actuelle et des perspectives. C'est à ce prix que le diagnostic devient un véritable outil au service du développement.

Un des enjeux essentiels du diagnostic repose donc dans sa restitution et sa mise en débat, entre les différents acteurs concernés. C'est une étape importante, qui demande préparation : qui inviter, sous quelle forme restituer informations et analyses, comment éviter que des rapports de force trop inégaux entre catégories d'acteurs, mais aussi à l'intérieur de chaque catégorie, ne biaisent le débat ?

Le diagnostic est l'occasion de confronter les savoirs et les analyses pour créer une représentation partagée de la réalité. Il demande au technicien :

- > *de savoir écouter et dialoguer*, pour être capable de comprendre la situation concrète des paysans et leurs points de vue ;
- > *de savoir analyser*, pour se forger sa propre représentation de la situation ;
- > *de savoir synthétiser et dialoguer*, pour restituer et mettre en débat ces analyses, et arriver à élaborer une construction commune.

La question de la langue

Comment prétendre dialoguer avec les ruraux si l'on ne parle ni la même langue, ni le même langage ? Dans de nombreux pays, la langue technique (français ou anglais) n'est pas la langue principale du pays, et n'est pas non plus la langue maternelle des ruraux. Sans un minimum de langage commun, on risque de nombreux dialogues de sourds. C'est aux techniciens de faire l'effort de communication. Ne pas se doter de capacités de traduction, oblige les paysans à s'exprimer dans une langue qu'ils ne maîtrisent pas et les met dans une situation qui les empêche de restituer leurs connaissances et leurs points de vue.

Au delà de la langue (passer du bambara au français) se pose la question des concepts et des catégories de pensée. Les langues locales sont plus ou moins riches en concepts, et décrivent plus ou moins finement telle ou telle réalité. Recueillir les termes locaux par lesquels les paysans décrivent leurs réalités et s'interroger sur leur signification, permet d'avoir accès à leurs catégories de pensée. Utiliser ces termes dans les entretiens et les enquêtes facilite la compréhension mutuelle et évite des contresens massifs. Cela témoigne aussi d'un intérêt pour les réalités vécues et perçues par les paysans.

Le recours parfois nécessaire à des traducteurs demande d'avoir au préalable travaillé avec eux sur les thèmes de discussion et sur la façon de traduire les termes du langage technique en langage paysan, et inversement.

On ne passe pas directement du diagnostic au choix d'actions : les priorités peuvent être divergentes entre les paysans ou entre les paysans et les techniciens. Comment arbitrer entre des intérêts divers ? Une fois le ou les thèmes de travail identifiés et négociés, la façon de les traiter doit aussi faire l'objet de débat : répondre à un problème de fertilité par le fumier ou le changement des cultures pratiquées ne revient pas au même. Le débat sur les modalités d'action va souvent de pair avec un approfondissement du diagnostic. Il constitue une phase essentielle.

LES PRINCIPAUX OUTILS DE DIAGNOSTIC

Le tableau 1 montre la diversité des diagnostics qu'un agronome peut être amené à réaliser au cours de sa vie professionnelle. La construction d'un diagnostic doit toujours être basée sur la recherche des réponses à un questionnement né de l'activité professionnelle. Il ne s'agit pas de faire un diagnostic pour se faire plaisir ou parce qu'on a été sollicité pour le faire, mais pour être plus efficace dans ses activités quotidiennes grâce à une meilleure connaissance des réalités. Cette diversité montre également qu'il est difficile de définir un diagnostic approprié à toutes les situations.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des outils spécialisés de diagnostic

Éléments de diagnostic	Objet d'étude, méthodes employées et résultats attendus	chapitre
Le diagnostic local des activités agricoles	Il permet à l'échelle d'un ou de quelques villages d'identifier les unités de paysage et leurs modes de mise en valeur, les principaux traits de la gestion des moyens de production et la diversité des exploitations agricoles. Il combine observations, enquêtes et exploitation des sources disponibles. Il permet d'établir des hypothèses sur les principaux liens entre variables observées et, par une analyse de l'histoire récente, de situer les observations actuelles dans une dynamique d'évolution.	12
Le diagnostic technique des systèmes de culture et d'élevage: diagnostic agronomique et diagnostic zootechnique	Le diagnostic agronomique: mise en évidence des facteurs limitant la production végétale à partir d'enquêtes et de suivis de parcelles cultivées par les agriculteurs ; il débouche très fréquemment sur de l'expérimentation. Le diagnostic zootechnique: mise en évidence des facteurs limitant la production limitant la production animale à partir d'enquêtes et de suivis de troupeaux conduits par les éleveurs ; il débouche fréquemment sur de l'expérimentation.	12 61 et 62
L'analyse du fonctionnement technique de l'exploitation	Elle a pour objectif la compréhension de la gestion des surfaces cultivées et non cultivées, de la gestion des troupeaux, de la gestion de la force de travail (calendrier,...), de la gestion de la fertilité à l'échelle de l'exploitation; elle associe travail d'enquête, travail d'observation et éventuellement des suivis; elle peut déboucher sur du conseil aux exploitants et est un préalable nécessaire au calcul des performances économiques de l'exploitation.	31
L'analyse du fonctionnement économique de l'exploitation	Elle permet, à partir d'un travail d'enquête et éventuellement de suivi, de comparer les performances économiques de différentes exploitations et d'analyser leur calendrier de trésorerie; elle peut déboucher sur la mise au point de solutions adaptées en matière de crédit et du conseil de gestion.	31
L'analyse de la diversité des exploitations agricoles	A partir d'observations et d'enquêtes, l'analyse de la diversité des exploitations débouche sur la constructions de typologies permettant d'adapter des propositions techniques et organisationnelles à la diversité des situations et des intérêts des agriculteurs.	31
L'analyse du fonctionnement d'un périmètre irrigué	L'analyse physique d'un réseau d'irrigation permet à partir d'observations et de mesures et d'enquêtes de comprendre le fonctionnement technique d'un réseau, préalable nécessaire à toute transformation. L'analyse des règles et structures sociales de gestion de la ressource, basée sur des enquêtes, a pour objectif la mise en évidence des mécanismes de décisions relatifs au partage de la ressource et à la gestion des infrastructures liées à l'irrigation; elle est indispensable pour un dialogue constructif avec les sociétés locales autour de la modification de ces règles.	235
L'analyse des systèmes fonciers et de la gestion des ressources naturelles	A partir d'un travail d'enquêtes et d'observations, ce type de diagnostic a pour objectif de comprendre les règles de gestion du foncier et des autres ressources naturelles en usage à une échelle locale; il permet d'analyser des blocages ou des freins à la diffusion de certaines innovations techniques et de comprendre comment s'articulent localement droit «traditionnel» et droit «moderne».	231
L'analyse des filières d'approvisionnement et de commercialisation	A partir d'un travail d'enquêtes et d'observations, ce diagnostic permet d'émettre des propositions d'ordre technique ou organisationnelle permettant aux agriculteurs d'augmenter la part de la valeur ajoutée finale qui leur revient, d'accéder à de nouveaux marchés et de diminuer leur dépendance en termes d'approvisionnement et de commercialisation.	222
Le diagnostic concerté d'un organisation paysanne ou rurale	Il permet de faire le point avec les responsables d'une organisation sur ses activités, son fonctionnement et ses projets, pour définir des axes et des modes de collaboration fructueux.	221

DES OUTILS POUR COLLECTER ET TRAITER L'INFORMATION

● **Construire un échantillon**

Il est en général impossible de réaliser en milieu rural des études exhaustives, où l'ensemble des éléments susceptibles d'être étudiés sont analysés. Il faut se contenter d'un nombre restreint d'observations. L'échantillonnage permet de choisir de manière judicieuse les éléments à étudier. Le mode de constitution de cet échantillon va dépendre, d'une part, du type de résultat recherché et, d'autre part, des éléments d'information déjà disponibles sur la population étudiée.

● **En fonction des résultats recherchés**

Il existe deux pôles principaux :

- > *la recherche de paramètres statistiques* : paramètres de position (moyenne, médiane...) et de dispersion (variance, écart-type...) : dans ce cas, l'essentiel est de constituer un échantillon qui ne soit pas biaisé, c'est-à-dire qui ne surestime ni ne sous-estime de manière systématique les résultats. Il faut donc réfléchir à la manière de passer d'une population totale à un échantillon, en passant au crible les différents niveaux d'échantillonnage et les biais qui peuvent être introduits à chacun de ces niveaux.
- > *la recherche de l'expression de la diversité* : dans ce cas, l'essentiel est de ne pas passer à côté de situations intéressantes mais peu représentées dans la population, ou de situations qui n'existent pas dans les statistiques officielles. Une phase de pré-enquête est en général nécessaire pour identifier la diversité et construire l'échantillon des situations qui seront observées.

● **À partir des informations disponibles**

On rencontre deux situations :

- > *il existe un recensement de l'ensemble des unités élémentaires de la population étudiée* : il va pouvoir être utilisé comme base de sondage pour constituer l'échantillon étudié.
- > *il n'existe pas de recensement exhaustif de la population étudiée* : les méthodes d'échantillonnage utilisées dans ce cas sont empiriques. La plus connue est celle des quotas. Par exemple, pour une enquête sur l'utilisation du fumier bovin, on peut construire un échantillon d'exploitations à partir de données sur la taille du troupeau bovin dans chaque exploitation.

● Enquêter

● Bâtir une stratégie d'enquête

Le recueil d'informations doit, si on souhaite qu'il soit relativement fiable, respecter quelques éléments de méthode. Son organisation est l'occasion de réfléchir aux questions suivantes :

- > est-on dans une phase «d'exploration» où il s'agit d'identifier les facteurs importants, dans une phase de recueil d'information systématisée ou dans une phase de test/vérification d'hypothèses ?
- > cherche-t-on à comprendre la perception qu'ont les paysans d'une question ou bien une information relativement précise qui réponde à notre propre questionnement ?
- > est-ce une information générale, «neutre» (les unités de paysages vues par les paysans) qui sera aisément validée par croisement d'informations auprès de quelques informateurs ; une information spécifique à l'individu en question (description de son système de production) qui devra être répétée sur un échantillon plus ou moins large ; ou bien une information à dimension sociale, potentiellement conflictuelle ou suscitant des avis socialement situés (type de maîtrise foncière, relations au sein de la famille et contrôle de la main-d'œuvre, etc.) ?
- > qui rencontrer par rapport à quelles questions ? Recherche-t-on un interlocuteur en tant «qu'expert» (sur tel sujet) ou «témoin» (par rapport à sa propre expérience) ?
- > cherche-t-on des informations purement qualitatives ou des éléments partiellement quantifiables ?
- > quel degré de validité ou de plausibilité recherche-t-on ?

Même lorsqu'elle porte sur des questions techniques (itinéraires techniques, problèmes agronomiques), une enquête soulève des questions qui relèvent des sciences sociales : compréhension réciproque entre enquêteur et enquêté, effet du contexte de l'enquête, capacité de l'enquêteur à écouter sans faire d'interprétation excessive...

L'importance du contexte de l'enquête

Une enquête agricole a souvent lieu dans le contexte d'une intervention prévue ou souhaitée. Les impressions laissées par les enquêtes et les projets précédents, les espoirs ou les craintes par rapport à l'action à venir, la façon dont l'enquêté perçoit les attentes de l'enquêteur, tout cela influe sur les réponses qui vont être données : insistance sur l'ignorance, le manque de ressources, la pauvreté, si l'on espère une aide ou au contraire sur la solidarité, le consensus, l'absence de différenciation.

Le lieu et les circonstances de l'enquête jouent également : on ne dit pas la même chose dans un cadre formel ou informel, sur la place du village, dans l'intimité de la maison ou au champ. La présence d'un notable local ou d'un agent de l'Etat peut biaiser fortement les réponses. Enfin le caractère un peu formel de l'enquête (prise de notes, questionnaire) peut bloquer les personnes les moins sûres d'elles.

Préparer une enquête, c'est préciser son questionnement, les hypothèses à vérifier et les données à recueillir, et définir la ou les façons de recueillir ces informations.

Rapports et études, cartes, entretiens avec des personnes-ressources extérieures au milieu rural, entretiens avec des paysans, observations directes : toutes ces formes d'accès à l'information peuvent être utilisées, à condition d'en connaître les précautions d'usage. Une stratégie d'enquête se construit donc en s'appuyant sur des sources croisées et différents modes de production de données.

De même, il faut en général combiner plusieurs types d'entretiens dont les résultats vont interagir : entretiens brefs avec des personnes rencontrées au hasard des déplacements et des visites dans les champs ; réunions collectives ; entretiens avec des personnes-ressources mobilisées pour un savoir particulier ; discussions informelles dans les gargotes ou sur la place du village. Les entretiens qualitatifs, individuels ou en groupe, sollicités ou au hasard des rencontres sont des outils essentiels, dont la maîtrise n'est pas aussi simple qu'il peut paraître. Il faut être particulièrement attentif au contexte de l'enquête, à la façon de mener le dialogue et aux risques de surinterprétation³.

● La diversité des formes d'enquêtes

● *Enquêtes fermées, entretiens semi-directifs et non directifs*

Tableau 2. Principales caractéristiques des enquêtes fermées et ouvertes

	Enquête fermée à questionnaire	Enquête ouverte
Nature des informations recherchées	circonsrites codables invariantes selon les individus	points de vue, opinions non codables pouvant varier selon les individus
Echantillonnage	utilisation des méthodes d'échantillonnage pour déterminer le nombre d'individus et les identifier	recherche de la diversité par triangulation, itération et saturation ¹
Représentativité	de type statistique	obtenue par saturation
Délégation du travail d'enquête	possible avec la formation d'enquêteurs	impossible: la même personne doit construire le protocole, recueillir l'information et la traiter
Comportement nécessaire pour l'enquêteur	respect des règles fixées pour l'enquête	mise en œuvre de qualités relationnelles
Mesure de la rigueur	quantification possible partiellement	approche qualitative: rigueur dans le questionnement, dans l'analyse et dans la mise en relation des faits rapportés avec la position de ceux qui les énoncent
Mode d'interprétation des données récoltées	utilisation des statistiques et classification des individus enquêtés	analyse du discours des enquêtés : analyse du contenu et analyse de la façon dont il a été exprimé

1. Triangulation: plusieurs points de vue sont recherchés pour décrire un même objet. Itération: le protocole se construit de manière progressive avec les informations récoltées. Saturation: la collecte d'information s'arrête lorsqu'il n'apparaît plus d'éléments nouveaux.

3 Surinterprétation : situation résultant du fait que l'analyse ne s'appuie pas de façon rigoureuse sur des données elles-mêmes rigoureuses : on leur fait dire des choses qu'elles ne peuvent pas dire, en projetant des présupposés, et on fausse donc les analyses proposées.

Les enquêtes par questionnaire

Les enquêtes par questionnaire posent des problèmes méthodologiques : méfiance des paysans, influant fortement sur la qualité des réponses ; questions ne faisant pas sens pour les paysans et catégories d'analyses inopérantes ; utilisation d'enquêteurs sans savoir-faire et ne comprenant parfois pas le sens des questions. L'arrivée des enquêteurs est souvent perçue comme une intervention de l'Etat, potentiellement porteuse de menace.

Les enquêtes quantitatives lourdes, prétendant saisir la totalité des réalités agroéconomiques, sont considérées aujourd'hui obsolètes car elles mobilisent des moyens démesurés par rapport à la qualité des résultats obtenus. En revanche, le recours aux questions fermées, sur un échantillon large d'individus, peut être nécessaire pour quantifier un phénomène.

L'enquête par questionnaire n'est donc heureusement pas impossible en milieu paysan, pour autant que :

- > le sujet de l'enquête soit ciblé et vise soit à tester des hypothèses issues d'un diagnostic qualitatif préalable, soit à mesurer la prévalence de phénomènes identifiés au préalable ;
- > le questionnaire soit construit autour d'hypothèses, en utilisant des concepts et des catégories d'analyse dont la pertinence aura été vérifiée au préalable ; qu'il utilise au maximum des terminologies locales (en vérifiant qu'elles ne sont pas équivoques) et qu'il ait été testé afin de vérifier sa compréhension par les enquêtés ; qu'il soit utilisé par des enquêteurs formés, maîtrisant les objectifs de leur travail et le sens des questions et parlant la langue locale ;
- > la durée de chaque enquête soit suffisamment courte (1 à 2 h) ;
- > l'échantillon ait bien été raisonné en fonction des objectifs de l'enquête.

Les questionnaires peuvent comporter des questions ouvertes. La difficulté est alors de bien transcrire la réponse des paysans et de faire un dépouillement spécifique cohérent.

Les entretiens

Les entretiens directifs visent à recueillir une information ciblée, structurée selon un questionnement prédéterminé. Ils peuvent s'appliquer à des données précises (décrire un itinéraire technique, par exemple) pour lesquelles une grille de description précise peut être élaborée sans risques.

Les entretiens semi-directifs visent à recueillir une série d'informations sur un thème, à partir d'un dialogue orienté avec l'interlocuteur. Cependant, l'enquête n'est pas complètement ouverte, car le type d'information recherchée est ciblée, sans être totalement déterminée. La conduite de l'entretien se fait de façon souple, sur le mode de la conversation. Il se fonde en général sur un guide d'entretien élaboré au préalable qui précise, pour les différents types de personnes interrogées, les informations recherchées. Ce n'est pas une série de questions pré-déterminées mais des questions que l'on se pose qui, au cours de la discussion, vont être transformées en questions posées. Le guide est là pour vérifier si, au fur et à mesure de l'entretien, les différents points souhaités sont bien abordés.

Les entretiens non-directifs visent à permettre aux interlocuteurs de restituer librement leur façon de voir et leurs connaissances. L'enquêteur se contente de lancer la conversation sur le thème choisi, d'enregistrer ou de noter le discours, demandant quelques précisions factuelles ou relançant d'une courte phrase. Ce type d'entretien est particulièrement adapté pour avoir accès à la façon dont les gens se représentent un ensemble de faits, sans risquer de biaiser ou d'enfermer son interlocuteur dans ses propres conceptions. C'est le cas des récits de vie, où l'interviewé raconte sa trajectoire, des récits historiques, des stratégies par rapport à tel ou tel enjeu. C'est ensuite, à partir des données recueillies, qu'on analyse et interprète ce qui a été dit.

Les entretiens constituent un outil essentiel de l'enquête en milieu rural. Leur facilité n'est qu'apparente et ils comportent de nombreux risques : celui de biaiser la façon de poser les questions, de ne pas entendre ce que le paysan veut dire et de l'interpréter en fonction de ses propres grilles, etc. L'entretien semi-directif est le plus délicat : il faut analyser en temps réel ce que dit l'interlocuteur pour rebondir sur les questions, sans pour autant orienter trop l'entretien.

La prise de notes détaillées ou l'enregistrement sont essentiels pour pouvoir reprendre les informations à tête reposée et éviter de trop les filtrer inconsciemment. Lorsque les entretiens sont réalisés en binôme, un partage des rôles entre celui qui pose les questions et celui qui prend les notes peut aider à conserver une trace fidèle de la discussion et éviter certains biais.

Dans tous les cas, la personne parle en fonction de sa position sociale et économique. Pour interpréter les données recueillies, il est nécessaire de situer socialement et économiquement les personnes interrogées.

● **Les entretiens individuels et collectifs**

Les deux types d'entretiens sont possibles, le tout est de définir l'approche la plus pertinente par rapport au sujet de l'enquête, et de se donner les moyens de percevoir les biais éventuels. Certains sujets se prêtent bien aux entretiens collectifs : identification des espaces mis en valeur, normes locales en matière de foncier, climat local...

Dans un entretien de groupe général, où l'on invite «le village», il y a de fortes chances que les notables soient sur-représentés, que la prise de parole soit largement conditionnée et que le résultat soit plus le point de vue des notables ou les normes locales, que le reflet d'un point de vue partagé par l'ensemble des présents.

Ce type d'exercice, trop fréquemment réalisé, a donc de sérieuses limites dès que l'on cherche à appréhender la diversité et les pratiques. Il peut être intéressant pour avoir un point de vue général ou pour débattre quelques hypothèses : les réponses à une chute des cours de tel produit, les grands axes de l'histoire agraire du lieu. Il peut permettre aussi de repérer des gens qui n'ont rien dit mais se sont exprimés par leur attitude, des gens que l'on a fait taire, et qu'on ira ensuite voir individuellement : l'observation de la dynamique de groupe est alors aussi importante que le contenu même des discussions. Il faut se donner les moyens de l'observer.

Des entretiens peuvent aussi être réalisés avec de petits groupes de personnes ciblées : soit avec de petits groupes d'informateurs, soit par catégorie sociale en vérifiant au préalable que ces catégories sont pertinentes par rapport à la question. Reconstituer la structure foncière d'un terroir à partir de l'histoire du peuplement se fait ainsi aisément avec un groupe de trois ou quatre «anciens».

Lors d'un entretien collectif, il est important de ne pas faire qu'une interprétation au premier degré. Il faut donc analyser qui est présent lors de l'entretien et qui dans le groupe a pris la parole et se demander si les réponses obtenues auraient été les mêmes avec des sous-groupes ou des individus. La valorisation correcte d'un entretien collectif demande une réflexion préalable à l'entretien, une vigilance très forte au moment de l'entretien et un important travail d'analyse *a posteriori*.

Pour d'autres sujets, comme les calendriers culturels ou les techniques de culture et d'élevage, les entretiens collectifs sont possibles dans un premier temps pour se construire une image générale, mais ils masquent la diversité des pratiques et aboutissent à des résultats imprécis, voire douteux. Il est souvent plus fructueux de partir de la pratique de quelques agriculteurs sur leur exploitation et de voir par la suite dans quelle mesure ces pratiques sont générales.

Les informations techniques très précises ne peuvent être obtenues que par enquête individuelle parce que leur variabilité est forte et qu'elles n'ont de sens que si on les met en rapport avec un contexte précis. Les questions à dimension sociale forte, comme le foncier, doivent aussi faire l'objet d'entretiens individuels parce que les pratiques effectives sont souvent loin des normes ou que certains rapports de domination seront voilés dans les entretiens collectifs.

● Les observations directes et les recensions

L'observation directe est un mode privilégié de recueil d'information. Elle permet d'avoir accès à des faits dont ni les enquêteurs, ni les enquêtés ne penseraient à parler, ce qui donne des éléments de questionnement pour les entretiens. Passer une demi-journée chez un commerçant local est souvent plus productif pour comprendre les stratégies de commercialisation et d'accès au crédit qu'une enquête sur le sujet !

A mi-chemin entre observation et questionnaire, les procédés de recension donnent une dimension systématique à un certain nombre d'observations : dépouiller systématiquement la liste des participants aux réunions de l'organisation paysanne, compter le nombre de troupeaux et la durée d'abreuvement à un puits, reconstituer l'assise foncière d'un échantillon d'exploitants, etc. sont autant de façons de recueillir et d'analyser, de façon systématique, des données sur un thème précis. La recension est souvent un mode indispensable de vérification d'analyses qualitatives, issues d'entretiens. Ses résultats sont un excellent support de débat avec les producteurs.

● Conduire un entretien

La conduite d'entretien demande des savoir-faire, qui sont ceux de l'enquête qualitative en sciences sociales (même si le sujet de l'entretien est technique). S'il n'existe pas de «recette» pour optimiser le résultat d'un entretien, il est néanmoins possible de rappeler quelques règles importantes.

● Se présenter, expliquer son travail

Rien n'est plus déplaisant que d'être questionné par quelqu'un qui ne s'est pas présenté. Après les politesses d'usage, il convient donc toujours d'indiquer ou de rappeler à son interlocuteur qui l'on est, le cadre du travail et l'utilisation prévue des résultats, puis de demander s'il est prêt à consacrer un peu de temps à une discussion autour d'un thème que l'on précisera.

● **Nourrir une conversation**

Le meilleur moyen de ne pas transformer une enquête en interrogatoire est d'en faire une discussion où s'échangent des points de vue. Ce qui n'est possible que si on a un point de vue par rapport à l'objet traité. Il est par conséquent important méthodologiquement de consacrer du temps à l'observation avant d'enquêter. Ce qui permet de ne pas poser de questions auxquelles un simple coup d'œil suffit à répondre ou qui localement n'ont pas de sens.

● **Identifier la position sociale de son interlocuteur**

Il est important de pouvoir situer socialement l'interlocuteur pour réinterpréter ses réponses non plus comme des données brutes mais comme un discours construit. La même unité de paysage sera présentée différemment par quelqu'un qui y exerce des droits fonciers reconnus, un exploitant précaire ou quelqu'un qui a des prétentions par rapport à la mise en valeur de cette unité. L'identification précise de l'interlocuteur est donc indispensable à l'interprétation au second degré de ses paroles.

● **Compléter peu à peu son information**

Un bon enquêteur doit savoir rebondir à partir des réponses de son interlocuteur pour exploiter et approfondir directement l'information transmise. Il doit donc être particulièrement attentif à ce qu'on lui dit, à la façon dont on le lui dit et doit savoir « saisir les perches » qui lui sont tendues.

Il doit aussi savoir habilement « remettre sur les rails » une conversation qui s'enlise ou part dans une direction stérile. Sans être prisonnier de son guide d'entretien, il doit donc arriver à compléter petit à petit son information dans les domaines qui l'intéressent en priorité, sans les oublier dans le feu de la conversation.

● **Ne pas mettre son interlocuteur dans l'embarras**

Il est important de ne pas mettre ses interlocuteurs dans la gêne par son attitude, ses questions ou son discours. On cherchera donc :

- > à respecter les habitudes locales ;
- > à accepter ce qui est offert de bon cœur (une chaise, une boisson...). Si on ne peut accepter, on fera comprendre d'une manière ou d'une autre que ce refus n'est pas du mépris ;
- > à être courtois du début à la fin de l'entretien.

Dans ses questions, on évitera aussi :

- > de semer le trouble par des questions imprécises, prêtant à confusion ou n'ayant pas de sens dans le contexte local ;
- > d'insister lorsque l'interlocuteur semble gêné ou incapable de répondre ;
- > de demander des renseignements d'ordre trop personnel, surtout si l'entretien est réalisé en présence de tiers.

● **Recouper les données d'enquête**

Les observations de terrain sont une autre mine de renseignements et les sources écrites sont également précieuses pour obtenir des données et réaliser un diagnostic.

Ces observations de terrain seront présentées dans le chapitre sur le diagnostic des activités paysannes à l'échelle locale. Comme dans le travail d'enquête, il est important de bien réfléchir au protocole d'observation qu'on met en œuvre et à ses limites.

Il est également toujours possible de trouver des informations, brutes ou déjà travaillées, sur une zone. Mais l'échelle de travail des documents disponibles n'est pas toujours celle qu'on souhaiterait et l'utilisation de l'information préexistante nécessite certaines précautions, variables suivant le type de document utilisé.

● **Les photographies aériennes**

Malgré leur absence de couleur et leur mode relativement simple d'utilisation qui peut leur donner un caractère désuet par rapport aux images prises par satellite, les photographies aériennes restent l'auxiliaire le plus précieux de l'agronome qui cherche à se repérer et à caractériser le milieu sur lequel il intervient.

● **Lire une photographie aérienne**

Il n'est pas toujours facile de se repérer sur des photographies aériennes ni de voir comment elles s'agencent entre elles.

Sur les photographies à petite échelle⁴, les détails qui permettraient d'identifier un ou plusieurs lieux sont trop petits. On cherche donc à se repérer directement non pas à partir de points mais de lignes et d'éléments structurants : réseau hydrographique, réseau de routes, pistes et chemins, lignes de crête d'orientation bien définie... Une deuxième solution, si on n'a pas le terrain sous les yeux ou si on ne l'a pas suffisamment mémorisé, consiste à essayer de faire le rapprochement entre la photographie aérienne et une carte topographique de la région.

Les photographies à grande échelle qui nécessitent la superposition partielle de plusieurs clichés pour couvrir toute la zone étudiée posent un autre problème. Il est accentué par le fait que, pour permettre d'utiliser la stéréoscopie⁵, chaque portion de l'espace doit être représentée sous des angles différents, et le recouvrement longitudinal entre deux clichés successifs est souvent compris entre 60 et 70 %. Une solution simple consiste, lors de l'achat des photographies, à se procurer ou à recopier le tableau d'assemblage qui sert à établir la commande. Il permet de repérer sur un fond de carte topographique le centre ou les bords des photographies identifiées par leur numéro.

4 L'échelle est le rapport entre la taille d'un objet tel qu'il apparaît sur la photographie et sa dimension réelle au sol. Les échelles du 1/20 000^{ème} (1 cm = 200 m) au 1/50 000^{ème} (1 cm = 500 m) sont fréquentes. Une photographie à grande échelle (1/10 000^{ème} par exemple) donne beaucoup de détails sur une surface relativement faible (de l'ordre de 500 ha = 5 km² pour un cliché de 22,5 cm x 22,5 cm) et une photographie à petite échelle (1/100 000^{ème} par exemple) couvre une grande surface (50 000 ha = 500 km² pour la même taille de cliché) avec beaucoup moins de détails.

5. Vision en relief permise par l'utilisation simultanée de deux photographies à l'aide d'un stéréoscope.

● **Utiliser une photographie aérienne**

Le repérage

La photographie aérienne permet de se repérer et de prendre un recul difficile à trouver sur le terrain dans des milieux très plats ou très fermés (forêts, savane très haute). Une information ponctuelle peut alors être située et replacée dans son cadre géographique.

La généralisation des observations

La mise en correspondance des informations de terrain avec des formes et des couleurs organisées sous forme de texture et de structure permet de généraliser l'information obtenue à partir d'observations partielles ou même ponctuelles à l'ensemble des zones de la photographie présentant les mêmes caractéristiques. Ce travail de généralisation est à la base du travail de cartographie dans de nombreux domaines.

L'utilisation en fond de carte

Un papier calque ou un transparent placé sur la photographie va permettre de créer une carte : carte de localisation des observations réalisées par rapport à des repères ou carte issue du travail de généralisation des observations indiquant les limites des différentes unités repérées au cours de la phase d'observation du paysage. Attention : le fond de carte réalisé ne se superposera pas en général complètement à une carte topographique, géologique ou autre où des corrections ont été effectuées pour supprimer les différences d'échelles et utiliser un système de projection du globe terrestre sur un plan.

La comparaison du milieu et de ses modes d'utilisation

Un autre intérêt fondamental des photographies aériennes réside dans l'existence de plusieurs missions photographiques sur trente à cinquante ans. Les renseignements obtenus par enquête sur l'histoire récente des paysages peuvent donc être recoupsés avec les informations issues de l'observation d'une série chronologique de photographies aériennes. On pourra ainsi rechercher les modifications du milieu et des modes de mise en valeur. Ce travail est en général passionnant, même si sa réalisation pratique peut présenter un certain nombre de difficultés : faible résolution des clichés anciens, échelles différentes suivant les passages, prises de vues à des saisons différentes, etc.

● **Les cartes**

Si les photographies aériennes sont autant des sources d'information que des supports de représentation pour la création de nouvelles cartes, les cartes sont d'abord des sources précieuses d'information préexistante.

● **Les cartes topographiques**

Elles constituent une source fondamentale d'informations sur un territoire donné. Y figurent notamment les voies de communication, les bâtiments, le relief, le réseau hydrographique, les noms de lieux, les obstacles à la progression au sol tels que marécages et escarpements ainsi que des éléments remarquables du paysage : sommets, arbres isolés, tombeaux et monuments religieux, plantations, etc. Elles peuvent constituer un fond intéressant pour créer de nouvelles cartes.

Elles ne sont pas exemptes d'erreurs : toponymes mal placés ou déformés, des bosses figurées à la place de trous, etc. Entre le terrain et la carte, c'est toujours le terrain qui a raison...

● **Les cartes géologiques**

Etablies en général à des échelles variant du 1/25 000 au 1/100 000, les cartes géologiques sont des outils assez fréquemment disponibles. Plus le substrat est varié et plus la couverture d'altération de ce substrat (le sol) est mince, plus la carte géologique est un instrument de travail important pour l'agronome. En effet, dans ces situations, la géologie détermine en grande partie les unités du milieu biophysique et leurs potentialités agroécologiques.

Comme pour les cartes topographiques, plus l'échelle de la carte est grande, plus la précision des informations sera importante. Il est illusoire d'espérer repérer toutes les variations du matériau géologique sur une carte au 1/1 000 000.

Même sur les cartes au 1/50 000, toutes les variations de faciès des roches ne peuvent être représentées, même si elles sont responsables de certains aspects du paysage. Par exemple, toutes les alternances de couches dures et de couches tendres à l'intérieur d'un calcaire ne peuvent être figurées. De même, il n'est pas possible de représenter séparément les parties à gros cristaux (plus altérables) et les parties à petits cristaux (plus dures) d'une même intrusion granitique.

Un figuré homogène sur une carte géologique ne signifie donc pas qu'il n'existe pas de différence de nature géologique pouvant expliquer des différences de modelé ou de mode de mise en valeur.

● **Les autres cartes**

Les cartes pédologiques sont peu fréquentes ou souvent été réalisées à de petites échelles (1/250 000 par exemple). À ces échelles, il n'est pas possible de représenter séparément chaque type de sol.

Certains pédologues ont choisi de ne représenter que le type de sol dominant dans chaque unité de surface élémentaire cartographiable et donc finalement de cartographier des unités caractérisées par la dominance d'un type de sol. L'utilisation de telles cartes demande une extrême prudence.

D'autres ont choisi de représenter des toposéquences avec, pour chacune d'entre elles, l'illustration de la variation des sols de l'amont vers l'aval. Ces cartes sont très intéressantes : elles fournissent pour chaque type de toposéquence un modèle d'organisation spatiale des sols qu'il faudra ensuite tenter d'appliquer sur le terrain, en recherchant dans chaque unité représentée les limites d'occupation de chaque type de sol. Ce type de carte qui met en évidence les relations entre unités de relief et types de sol peut être appelé carte morphopédologique.

Les autres cartes correspondent souvent à des travaux effectués dans un objectif bien précis. Elles sont en général issues du croisement de cartes représentant des caractéristiques biophysiques et pondérant chaque caractéristique : pente, type de sol, etc. Ces cartes sont souvent un peu passées de mode et on les consultera avec prudence : leur objectif de réalisation ne correspond souvent plus à une problématique actuelle et les données utilisées pour pondérer les différentes caractéristiques du milieu biophysique peuvent devenir obsolètes lorsque de nouvelles espèces sont cultivées ou élevées ou si de nouvelles techniques sont disponibles.

● **Les rapports techniques**

Beaucoup de zones ont fait l'objet par le passé d'interventions qui ont donné lieu à des rapports techniques. Deux obstacles surgissent lorsqu'on veut utiliser ces documents :

- > l'information y est fréquemment lacunaire, centrée autour des objectifs de l'intervention, de son suivi et de son évaluation ;
- > l'information issue de rapports techniques est souvent sujette à caution. D'une part, ils peuvent contenir des informations pour lesquelles aucun dispositif fiable de recueil d'information n'a été mis en place ; d'autre part, les enjeux personnels et institutionnels liés à la réalisation de l'intervention ont pu conduire à des sous-estimations ou des surestimations très importantes mais difficiles à déceler quelques années ou décennies plus tard.

La prudence s'impose donc dans l'exploitation de ces données.

● **Les travaux des chercheurs et des étudiants**

Il s'agit de données plus fiables que les rapports techniques d'activité. Mais cette fiabilité reste variable : en général, un travail de chercheur est plus rigoureux et fiable qu'un travail d'étudiant, dont la qualité varie fortement avec le temps de présence sur le terrain et l'encadrement par un ou plusieurs enseignants.

Il est important d'avoir à l'esprit qu'un travail de recherche n'est pas une monographie locale : il est construit autour d'hypothèses précises dans un champ disciplinaire donné et les résultats qui en sont issus ne sont donc relatifs qu'à l'objet étudié et peuvent différer des résultats obtenus en étudiant le même objet avec une autre discipline.

● **Les données statistiques**

Une grande vigilance doit accompagner l'utilisation de données statistiques recueillies auprès de services normalement spécialisés dans ce domaine.

● **Les problèmes de terminologie**

On pourrait penser que les statistiques agricoles ne présentent pas de difficulté majeure dans le domaine de la terminologie ou du moins qu'elles sont mineures par rapport à celles qu'on rencontre dans d'autres sphères (comment définir par exemple un chômeur dans une économie où 80 % de la population «travaille» dans le secteur informel ?). En fait, ces difficultés sont réelles : la possibilité de réaliser deux ou trois cycles de culture par an (plus même pour les cultures maraîchères) sur la même parcelle, la fréquence des cultures associées, la difficulté de définir une exploitation agricole causent des difficultés d'identification et de dénombrement majeures dans les pays en développement.

● **Des méthodes de collecte très variées**

Une estimation de rendement, par exemple, donne des résultats différents selon la méthode utilisée : pesée de la récolte obtenue sur une surface élémentaire (« carré de rendement»), échantillonnage sur toute la parcelle, pesée de la totalité de la récolte sur un échantillon de parcelles, estimation déclarative. Des données contradictoires liées à des méthodes différentes d'estimation sont donc fréquentes.

Par ailleurs, un changement de méthode d'estimation risque de produire une discontinuité dans les séries chronologiques. Si les données ne sont pas accompagnées d'éléments sur la variation des méthodes de collecte, de grosses erreurs d'interprétation peuvent se produire.

● ***Des services de statistiques agricoles souvent peu performants***

La dégradation de la situation économique de nombreux pays a conduit à une détérioration des conditions de travail des services statistiques en termes de moyens de collecte, de contrôle et de traitement des informations. Certains services statistiques ne travaillent plus qu'en veillesse, par copie et estimation grossière de données, dans l'attente d'un financement national ou international qui permettra pour une ou deux campagnes agricoles d'obtenir des données relativement fiables.

● ***Les risques de falsification des données***

Le cadre de recueil des données est variable. Si le dénombrement n'a aucune conséquence directe pour celui qui l'opère ou le commandite et pour le propriétaire des éléments dénombrés, il peut être objectif et sa qualité est essentiellement liée aux moyens mis en œuvre. S'il est destiné au prélèvement d'une taxe, à la distribution d'une subvention, à l'évaluation d'un projet et donc au devenir professionnel de ceux qui y travaillent, ou à toute autre activité qui aura des conséquences sur la situation de ceux qui opèrent le dénombrement ou de ceux qui détiennent les objets dénombrés, les risques de falsification sont importants et l'écart entre la statistique et la réalité peut être énorme.

● ***Les risques d'interprétation erronée***

Même si les données de base sont fiables, elles ne sont que des informations brutes qui nécessitent une interprétation. Malheureusement, les éléments d'interprétation sont souvent plus complexes à trouver et à valider. Les risques d'interprétation erronée de données statistiques sont très importants. L'utilisation des données statistiques demande donc une grande prudence par rapport aux chiffres et de la rigueur dans leur interprétation.

● ***Du diagnostic aux propositions d'action***

Les hypothèses sont à la base de la construction du dispositif de collecte d'informations. Certaines de ces hypothèses (les plus générales) ont été formulées au début du travail de diagnostic. D'autres, plus précises, sont venues par la suite, au fur et à mesure de la progression de la connaissance de l'objet étudié.

Les différentes sources utilisées ont fourni un ensemble d'informations qui doivent dans un premier temps être analysées et recoupées. Elles vont permettre de conclure par rapport aux différentes hypothèses formulées : certaines se révèlent correctes, d'autres doivent être rejetées (les informations recueillies prouvent que l'hypothèse est mauvaise). Pour d'autres, enfin, il n'est pas possible de conclure (les informations disponibles ne permettent pas de trancher).

Mais ce type de résultat ne permet pas encore de construire des propositions d'action. Il faut en effet franchir encore deux étapes pour parvenir à un produit opérationnel en terme de développement.

La première étape consiste à formuler des jugements par rapport aux conclusions de l'analyse de la situation actuelle : qu'est-ce qu'on accepte dans la situation actuelle, qu'est-ce qu'on souhaite voir changer, et dans quel sens ? Ce jugement est bien sûr subjectif : il dépend du point de vue de celui qui l'émet. Le jugement de l'expert international est tout aussi subjectif que celui du paysan. C'est le produit de cette première étape qui constitue le diagnostic. Pour qu'il y ait «diagnostic partagé», il faut donc qu'un débat commun autour des résultats de l'analyse de la situation actuelle débouche sur un avis commun sur ce qu'il faut modifier ou non.

La seconde étape consiste, dans les domaines où on souhaite modifier la situation actuelle, à identifier des actions permettant de la corriger dans le sens voulu. Il y a souvent plusieurs façons de parvenir à un résultat donné. Un projet ne peut véritablement être qualifié de participatif si les principaux intéressés n'ont pas été associés au choix des options finalement retenues.

Le diagnostic local des activités paysannes

À partir des contributions de P. Lavigne-Delville (GRET)
et B. Wybrecht (GRET)

LES COMPOSANTES DU MILIEU AGRICOLE

L'analyse du fonctionnement de l'agriculture dans une petite région comprend trois volets présentés ci-dessous.

● *Les techniques de production*

De nombreuses opérations de développement agricole ont connu des échecs lorsqu'elles ont essayé de diffuser des innovations techniques en l'absence d'informations sur les méthodes de production mises en œuvre par les agriculteurs et leur efficacité technique et économique. Cet échec est lié soit à la sous-estimation des performances des techniques élaborées localement, soit à la profonde adaptation des pratiques paysannes à leur environnement physique, technique, économique et social.

Pour proposer aux agriculteurs des innovations qui correspondent à leurs besoins, il convient donc d'être capable d'analyser :

- > le milieu dans lequel ils produisent, ses potentialités et l'évolution de ses caractéristiques ;
- > les processus actuels de production et leurs résultats : techniques utilisées, outillage correspondant, effets sur le milieu, résultats techniques et économiques correspondants.

● *La gestion sociale des facteurs de production*

D'autres échecs sont imputables à la méconnaissance de l'organisation sociale de la gestion du foncier, de l'eau, du travail et du capital. Ces facteurs de production sont parfois gérés à l'échelle de la famille restreinte, mais très souvent ils sont au moins partiellement gérés à une échelle plus vaste : famille élargie, lignage, groupe de résidence... La méconnaissance des niveaux et des règles de gestion se traduit par des propositions qui peuvent être techniquement adaptées mais qui nécessitent pour leur mise en œuvre de profondes modifications de ces niveaux et règles de décision. L'échec de ce type de proposition traduit souvent un refus implicite de ces modifications par les gestionnaires actuels, interprété parfois par ceux qui ont émis les propositions comme un signe de conservatisme et de refus de sortir de la «routine».

● La diversité des exploitations

Les propositions de modification peuvent être acceptées seulement par une partie des agriculteurs, aboutissant à des situations qualifiées de demi-échec ou de demi-réussite. Une connaissance préalable de la diversité des exploitations en termes de niveau de capitalisation, d'activités pratiquées, d'accès à l'information, de résultats techniques et économiques évite les désagréments de ce type en permettant d'identifier *a priori* les catégories d'agriculteurs susceptibles d'être intéressés et capables économiquement d'intégrer une innovation proposée. La connaissance de l'origine de la diversité actuelle des situations des exploitations agricoles permet par ailleurs de situer les interventions actuelles dans le cadre de l'évolution de l'agriculture locale.

LES HYPOTHÈSES DU DIAGNOSTIC LOCAL

Les éléments présentés ci-dessous correspondent à une série d'hypothèses qui expliquent en partie la complexité du travail d'appui au développement :

- > le milieu physique est hétérogène à l'échelle de l'espace mis en valeur par la communauté agricole étudiée ;
- > à cette diversité du milieu correspond une diversité de modes de mises en valeur ;
- > les ressources disponibles, les moyens de production et le travail sont gérés à des échelles variées ; les décisions d'affectation et de réallocation dépendent en conséquence de centres de décision multiples ;
- > les exploitations agricoles constituent un ensemble hétérogène. Elles disposent de moyens de productions variables et les combinent de manière différente ; elles ont donc des fonctionnements différents et ne produisent pas toutes les mêmes choses ;
- > les types d'exploitations agricoles et les modes d'utilisation de l'espace ont évolué dans un passé récent.

Le travail de diagnostic permettra de valider ou d'infirmer ces principales hypothèses à partir d'un travail associant observations, enquêtes et exploitation de documents. Il conduira également à les affiner et à les compléter.

Les problèmes d'environnement économique, social et politique, qui ont une influence essentielle sur le fonctionnement d'une agriculture locale, seront abordés dans d'autres chapitres.

OBSERVER LES PAYSAGES

Pour entamer une discussion constructive avec des agriculteurs autour de la mise en valeur d'un espace, il est nécessaire de le connaître et de s'en forger une représentation que l'on pourra confronter avec celle de ses interlocuteurs. Observer préalablement, c'est se donner les outils pour dialoguer et ne pas se contenter de recueillir le discours des autres.

● Les méthodes d'observation

● Du général au particulier

Il est essentiel pour comprendre de manière globale le fonctionnement d'une agriculture dans une petite région de ne pas se focaliser dès le départ sur des observations de détail. Il faut au contraire essayer de partir d'une compréhension de l'organisation générale des paysages. La bonne échelle de travail pour cette première phase dépend de l'échelle d'organisation des paysages :

- > *dans les régions de relief accidenté*, on peut trouver une diversité importante d'unités de paysage sur une surface réduite (quelques kilomètres carrés). L'organisation du paysage peut donc être analysée à partir de l'étude d'un territoire de taille modeste.
- > *dans les zones aplanies*, correspondant souvent à des socles anciens, les paysages s'organisent sur des espaces plus grands et la découverte des différentes unités de paysage et de leurs relations peut nécessiter une étude rapide d'une zone relativement vaste (plusieurs dizaines de kilomètres carrés).

Aller du général au particulier permet de comprendre l'organisation d'objets complexes en les décomposant en objets plus simples.

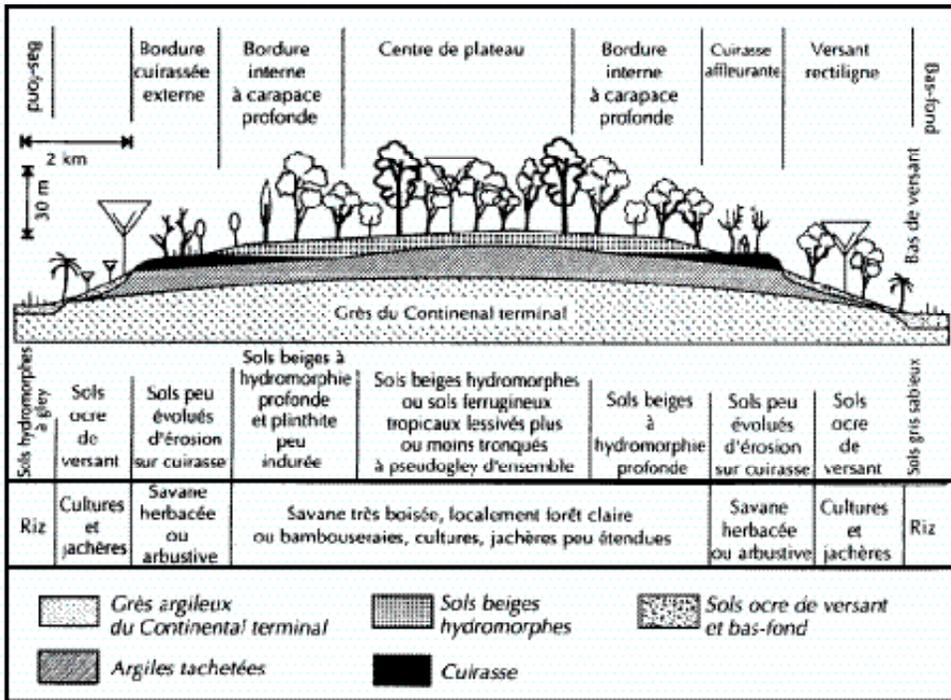
● Le milieu physique

La compréhension de l'organisation et de l'occupation d'un paysage passe dans un premier temps par l'analyse des relations entre le substrat géologique, les formes du relief et les types de sols rencontrés. La géomorphologie et la morphopédologie sont les disciplines scientifiques qui étudient ces relations :

- > la morphopédologie permet de faire le lien entre les formes du relief et les types de sols rencontrés. Elle est particulièrement opérationnelle lorsque le substrat géologique est peu variable, comme dans le cas des paysages sur socle ancien d'Afrique de l'Ouest ;
- > la géomorphologie établit les correspondances entre les caractéristiques des matériaux géologiques présents (les types de roches) et les formes du relief. Elle est très opérationnelle lorsque le substrat géologique est très variable et la couverture pédologique peu développée en épaisseur, comme dans le cas des reliefs insulaires. Le paysage peut être découpé en grandes unités correspondant à des matériaux différents puis chaque unité est subdivisée en sous-unités correspondant à des unités de relief différentes.

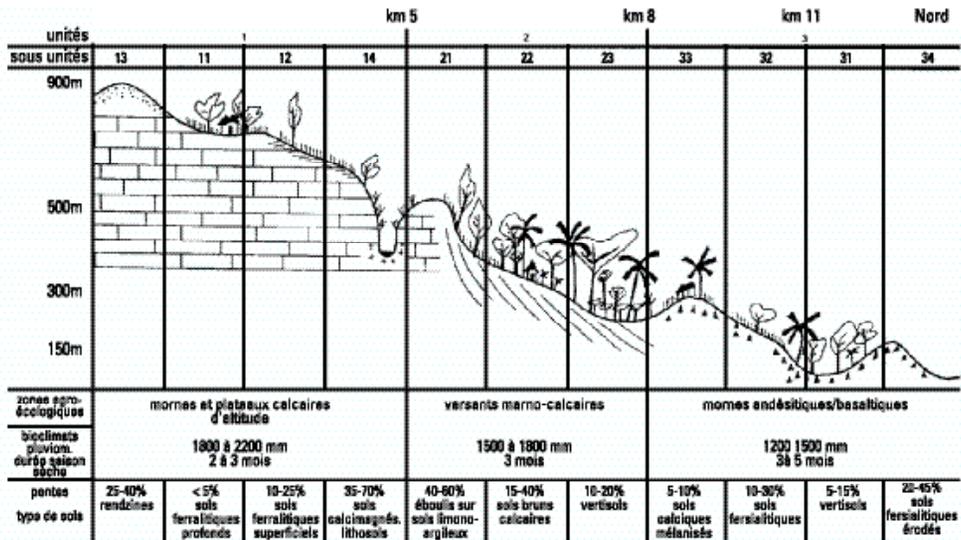
La lecture du paysage passe donc dans une première étape par une reconnaissance des principaux éléments du relief et des unités topographiques qui les composent : replats, pentes, terrasses, fonds...

Cette première identification peut se faire à partir de quelques points d'observation. En complément de l'identification des principaux éléments, on s'intéresse à la manière dont les différents éléments se raccordent entre eux et à l'hétérogénéité à l'intérieur d'une catégorie : deux formes différentes de montagnes correspondent souvent à deux roches différentes. A cette étape, la nature des activités humaines n'est pas étudiée de manière approfondie, mais considérée comme un indicateur potentiel d'hétérogénéité : on vérifie par des observations de proximité si deux activités différentes correspondent ou non à des unités de milieu différentes.



Extrait de R. Bertrand, "Du Sahel à la forêt tropicale", CIRAD, coll. Repères, 1998

► Figure 1 : Relation entre le modelé, les sols et la végétation de Haute Casamance (Sénégal) en milieu soudanien



(Extrait de B. Smolikowski, La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie de lutte antérosive en Haïti, in Cah. ORSTOM, série Pédologie, vol. XXVIII, n°2, 1993)

► Figure 2 : Relation entre la géologie, le modelé et les sols sur le transect de Salagnac - Petite rivière de Nippes en Haïti

La deuxième étape consiste à mettre en relation une unité topographique avec un ou des types de matériaux géologiques et un ou des types de sols. Les informations sur la nature des roches peuvent être lues sur une carte géologique ou obtenues par observation directe dans les endroits où le matériau géologique affleure. Lorsque ce matériau n'affleure nulle part, on se contente d'établir les relations entre formes de reliefs et types de sols. Les informations sur les types de sol sont obtenues par observation de coupes existantes (coupes naturelles, carrières, tranchées de route, chemins creux...), éventuellement complétées par quelques fosses pédologiques dans chacune des facettes de paysage préalablement identifiée (cf. chapitre 413). Chaque unité de paysage doit donc être parcourue.

Au terme de cette deuxième étape, on doit avoir repéré les correspondances entre une unité de paysage, le matériau géologique sous-jacent et le ou les types de sols qu'on y rencontre.

● Les mises en valeur d'une unité de paysage

Il faut ensuite décrire l'utilisation de chacune unité paysagère. Les traces dans le paysage de cette valorisation sont :

- > *les aménagements* : réseaux d'irrigation, de drainage, d'évacuation des eaux de ruissellement, haies, chemins, épierrage des parcelles...
- > *les plantations* : arbres fruitiers, forêts...
- > *les cultures* en place et les traces de culture récente ;
- > *la présence d'élevages* et les traces des travaux réalisés par les éleveurs (clôture, coupe d'herbe...) ;
- > *les traces d'exploitation du sol et du sous-sol* : carrière, mine, four à briques...

Pour chaque unité, on essaie d'apprécier la proportion de la surface ayant fait l'objet d'aménagements et l'importance des différents modes de mise en valeur (cultures, parcours, plantations...) du milieu.

● Les observations de détail

Le parcours des différentes unités permet de faire des observations plus précises sur les aménagements et les modes de mise en valeur :

- > *les aménagements* : quelles sont leurs caractéristiques physiques (dimensions, matériaux utilisés) ? Y a-t-il des éléments communs à plusieurs parcelles (canal d'irrigation, exutoire) ?
- > *les plantations* : quelles sont les espèces présentes ? Quelles sont les marques d'entretien des plantations (traces de fauchage ou de désherbage, arbres taillés ou exploités) ?
- > *les parcelles cultivées* : quelles sont les cultures et associations de culture présentes dans une unité ? Trouve-t-on des résidus de culture dans les parcelles ? Qu'observe-t-on comme trace de la conduite de la culture dans la parcelle (état physique du sol, présence d'adventices, présence de fumier ou d'engrais) ?
- > *les espaces non cultivés* : quelles sont les marques d'exploitation éventuellement présentes (traces de pâturage, de collecte de fruits, de passage d'un feu, etc.) ?

La curiosité doit guider les observations qui permettront petit à petit de construire une représentation des modes d'exploitation du territoire étudié.

● **Unités du milieu et modes de mise en valeur**

L'ensemble des observations réalisées va permettre de faire une première synthèse orientée autour de la question suivante : quelle est la correspondance entre les unités de milieu repérées et les modes de mise en valeur ?

Plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

- > à chaque unité de paysage correspond un mode d'exploitation du milieu unique et spécifique. En fait, ce cas est très rare ;
- > à chaque unité de paysage correspondent plusieurs modes d'exploitation du milieu, en général spécifiques à cette unité de milieu.

Cette situation nous amène à nous interroger sur deux points. Les modes de mise en valeur identifiés sont-ils différents ou ne sont-ils que des facettes différentes d'un unique mode d'exploitation : cultures pratiquées en succession les unes avec les autres, succession sur le même espace de périodes de jachère pâturée et de périodes de mise en culture ? S'il s'agit effectivement de modes de mise en valeur différents, pourquoi observe-t-on cette hétérogénéité ? Le milieu et ses hétérogénéités ont-ils été appréciés assez finement ou d'autres facteurs que le milieu naturel conditionnent-ils les modes de mise en valeur ?

- > les modes d'exploitation du milieu ne paraissent pas spécifiques d'une unité de milieu donnée : « *on fait la même chose partout* » ou « *on fait un peu de tout partout* ». Il faut chercher les raisons qui font qu'il n'y pas de correspondance entre unités de milieu et modes de mise en valeur et prendre garde lorsqu'on cherchera des informations complémentaires sur un mode d'exploitation du milieu à lier les informations recueillies à des unités de milieu précises : ce n'est parce qu'on cultive du maïs sur deux unités de milieux différentes qu'on le cultive de la même manière sur les deux unités et qu'on obtient le même résultat technique. De même, deux unités différentes peuvent être exploitées comme pâturage maïs avec des animaux différents, à des périodes différentes.

DU VISIBLE À L'INVISIBLE

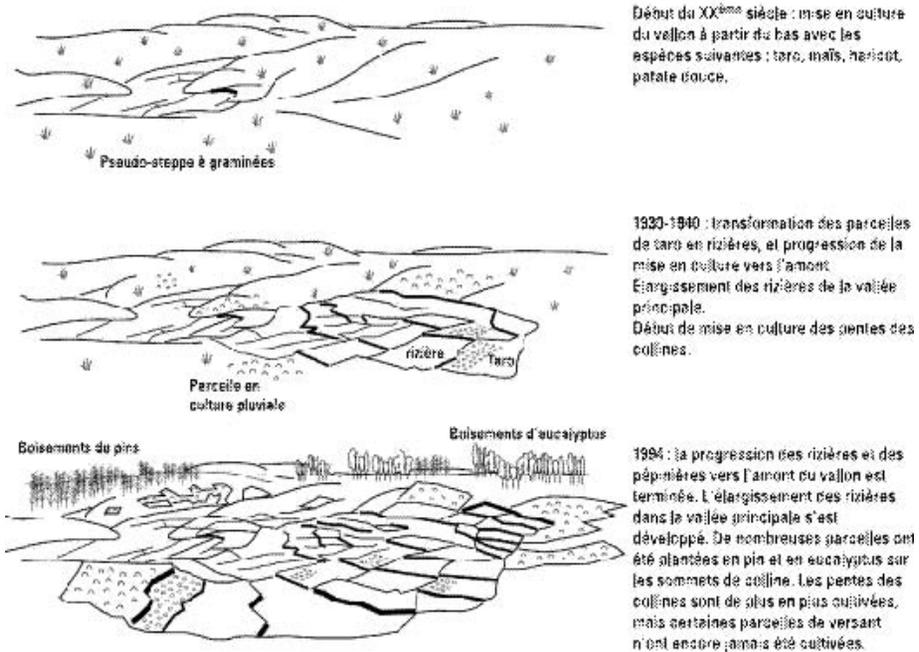
● **Situer les observations dans des calendriers**

Une observation se réalise toujours à une période donnée du calendrier, une année donnée. Le même paysage observé à des saisons différentes n'apporte pas les mêmes informations. Toute observation pose donc la question du caractère éphémère ou non de la réalité observée. On est ainsi amené à s'interroger sur :

- > les variations saisonnières du paysage : quelles cultures apparaissent ou disparaissent suivant les saisons ? Y a-t-il des périodes de l'année où les terrains de culture ne sont pas cultivés et dans ce cas que font les agriculteurs sur ces parcelles ? Les animaux sont-ils plus ou moins présents dans le paysage aux autres périodes de l'année ?

> l'évolution au fil des ans des modes d'exploitation du milieu : les différents modes d'exploitation du milieu observés sont-ils anciens ou récents ? Quelles sont les parties du paysage qui ont été les premières mises en valeur et quelles ont été les évolutions ultérieures ? Quelles sont les évolutions récentes en termes d'espèces végétales cultivées et d'espèces animales élevées ? Le milieu a-t-il évolué du fait des activités humaines pratiquées et comment ?

Il s'agit donc de placer les informations liées à une observation ponctuelle dans le temps cyclique des saisons et le temps linéaire de l'histoire locale.



(extraite de J. Lamy et K. Carbone - Casadesous. Premier diagnostic des systèmes de production du fokontany d'Ambatoharana - Hautes Terres Centrales de Madagascar, mémoire CSAI LVA 42, 1994)

► **Figure 3 : Evolution de la mise en valeur d'un paysage sur les hautes terres centrales de Madagascar**

● La mise en place des aménagements

Pour comprendre la dynamique de mise en valeur, il faut se poser la question de la datation des aménagements. En effet, ils n'ont pas tous été mis en place à la même période. Certains ont remplacé ou prolongé des aménagements plus anciens. Il est intéressant de les positionner, au moins de manière relative, les uns par rapport aux autres, pour saisir la dynamique d'occupation et d'aménagement de l'espace.

Une autre question qui se pose est celle du caractère individuel ou collectif des aménagements. Un bas-fond aménagé en rizières, un versant cloisonné par des haies amènent à se demander si le paysage observé résulte d'une action collective d'aménagement ou de la somme d'actions individuelles allant dans le même sens.

● **Le partage social de l'espace**

La lecture du paysage permet d'identifier des unités de mise en valeur à différentes échelles : unités de modes d'exploitation correspondant à des unités ou des sous-unités de milieu, champs correspondant à des unités d'exploitation...

Mais comment s'organise le partage de l'espace au sein de la société ? Tous les individus ont-ils accès à la terre ? Ceux qui y ont accès ont-ils accès à toutes les unités de milieu ? S'agit-il de droits d'accès définitifs ou temporaires, collectifs ou individuels ?

Le paysage suggère des hypothèses : un vaste espace pâturé fera penser à une appropriation collective alors qu'un réseau de petites parcelles bien individualisées suggère plutôt une appropriation individuelle. Il faut vérifier ces hypothèses en ayant bien à l'esprit que tout le territoire n'est pas forcément géré de manière identique. L'histoire est ainsi un élément fondamental de compréhension de la situation actuelle. Les formes d'appropriation ont souvent évolué rapidement et le partage actuel de l'espace n'est souvent compréhensible qu'à partir d'une vision du partage à la génération précédente. Les règles de partage peuvent être également très éclairantes pour comprendre la situation actuelle. Un chapitre particulier du *Mémento* est consacré à l'analyse des systèmes fonciers (chapitre 231).

L'observation du paysage permet donc d'amorcer avec les acteurs locaux une véritable discussion sur le fonctionnement des activités agricoles et ses origines. Il s'agit maintenant de voir comment organiser ce dialogue pour qu'il soit le plus riche possible.

LES ENTRETIENS

● **Les informateurs privilégiés**

Si le parcours des différentes unités est une occasion de rencontre et de discussion avec des personnes intéressantes, ce type de rencontres n'est pas le fruit du hasard : elle ne permet de rencontrer fréquemment que certaines catégories d'individus (gardiens d'animaux...) et ne permettra donc pas de recueillir toute l'information recherchée. Il arrive même fréquemment que ce genre d'entretiens «au coin du champ» soit très décevant : la personne rencontrée est un ouvrier agricole venu pour quelques semaines et ne connaît pas bien le milieu où il travaille.

Un principe élémentaire à respecter est de choisir des interlocuteurs variés. Deux raisons expliquent cette nécessité. Tout d'abord, les informations nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'agriculture locale sont nombreuses et correspondent à des domaines variés. Elles ne sont pas forcément disponibles chez un interlocuteur unique.

Il est donc important de raisonner le choix de ses interlocuteurs en fonction des informations recherchées :

- > les informations sur l'histoire agraire locale seront obtenues soit auprès de personnes âgées capables de décrire le mode de vie de la ou des générations précédentes, soit auprès de personnes qui sont les dépositaires de la mémoire collective familiale ou communautaire. Ces personnes ne sont pas forcément des agriculteurs ou d'anciens agriculteurs. Certains peuvent ne plus habiter la région étudiée ;

> les informations sur les modes actuels de mise en valeur seront recherchées auprès de la génération actuelle d'exploitants. Mais toute l'information n'est pas nécessairement disponible auprès d'un interlocuteur unique : la gestion quotidienne d'une activité peut relever d'un individu relativement jeune à même de fournir des informations techniques précises alors que les choix importants (choix des cultures, gestion des achats et des ventes d'animaux dans un troupeau...) relèveront d'un autre individu, le seul à pouvoir expliquer ses choix.

La deuxième raison qui pousse à diversifier ses interlocuteurs est plus fondamentale : les informations recueillies par enquête ne sont pas un reflet conforme de la réalité mais une interprétation et un discours sur la réalité. Si on ne veut pas rester prisonnier du discours d'un individu, il faut questionner sur le même sujet d'autres personnes susceptibles d'apporter des points de vue différents : le même espace peut être perçu très différemment par des agriculteurs et par des éleveurs, que ce soit en termes de limites, de découpage, de potentialités, d'appropriation, etc. C'est ce qu'on appelle « la triangulation ».

● **Les principaux thèmes à aborder**

● **La perception locale des unités de paysage**

Le travail d'observation a permis de reconnaître des unités de paysage relativement homogènes du point de vue du milieu et des activités humaines. Il est important de confronter ce travail, reflet d'une vision externe, au point de vue de ceux qui habitent et exploitent le milieu étudié.

La réalisation de ce travail nécessite de partir du vocabulaire local qui en général découpe le paysage en différentes unités. C'est souvent délicat lorsqu'on ne sait pas au départ quels types d'objet sont décrits par un terme particulier : est-ce une unité de milieu physique, une unité de mise en valeur, une unité d'appropriation foncière, un type de sol, ou une combinaison de plusieurs de ces catégories... ? On ne peut donc se contenter de recueillir des termes locaux et de les localiser dans l'espace. Il faut identifier clairement les catégories d'objets décrits puis, à l'intérieur de chaque catégorie, identifier des unités décrites par un terme.

On peut ensuite établir les correspondances entre les perceptions paysannes et le résultat des observations. Fréquemment, les deux découpages sont voisins et une discussion sur les quelques différences observées permet d'enrichir encore l'information obtenue.

● **L'histoire des aménagements**

L'observation des paysages permet de voir des aménagements actuellement utilisés ou des traces d'anciens aménagements.

La datation relative des aménagements permet de mettre en évidence la « *logique technique* » de l'évolution de l'agriculture : mise en valeur progressive des différentes unités de paysage, intensification progressive de la mise en valeur de certains espaces.

La compréhension de la « *logique sociale* » demande d'élargir le champ d'investigation aux structures sociales en place aux différentes périodes d'aménagement.

Il est important en effet de mettre en évidence les types de rapports sociaux qui ont permis parfois de réaliser d'énormes investissements en travail. Ces rapports s'organisent à différentes échelles :

- > à l'échelle familiale, où la gestion du travail peut être réalisée dans un cadre de famille restreinte ou de famille élargie, avec présence ou non de main-d'œuvre permanente complémentaire (dépendants, ancienne main d'œuvre servile...);
- > à l'échelle du lignage, où certains travaux collectifs ont pu être réalisés sous l'autorité d'un chef de lignage ou d'une assemblée de chefs de famille apparentés ;
- > à une échelle suprafamiliale, où un pouvoir politique local, régional ou national a pu décider et mettre en place les conditions d'une transformation du paysage mis en valeur.

Comprendre la dynamique d'aménagement de l'espace nécessite donc de comprendre comment, à chaque période d'aménagement, ces différents niveaux de gestion de la force de travail ont été organisés et comment ils étaient articulés les uns avec les autres.

Une autre question importante à se poser est celle de la productivité des modes de mise en valeur agricole passés : comment une société rurale locale a-t-elle pu produire suffisamment pour investir dans des aménagements coûteux en travail ? Alors que les analyses actuelles mettent souvent en évidence des situations très précaires, caractérisées par une incapacité pour la plupart des exploitations à capitaliser sous quelque forme que ce soit, cette question mérite d'être abordée si on veut proposer une nouvelle phase d'aménagement.

Une enquête de durée limitée n'apporte souvent que des réponses partielles à toutes ces questions. Elle ne peut faire apparaître que ce qui subsiste dans la mémoire locale. Même en interrogeant des personnes âgées, il est souvent difficile de retrouver l'histoire d'aménagements vieux de plus d'un siècle. L'histoire plus ancienne est souvent retracée de manière très approximative et rejoint, quand on remonte dans le temps, l'«histoire officielle» des livres d'école.

L'histoire des structures sociales est parfois un sujet difficile à aborder lorsque des structures anciennes de type «servage domestique» ont officiellement disparu mais laissent des traces importantes dans la société actuelle (rapports sociaux et accès aux facteurs de production). L'histoire est une science difficile à pratiquer, où les résultats se construisent progressivement, et les agronomes prennent malheureusement trop rarement le temps d'aller rechercher les informations là où elles se trouvent.

● Les modes de mises en valeur et leur dynamique

Les passages sur le terrain ont permis d'identifier différents modes de mise en valeur : des espaces non cultivés, pâturés ou non, des espaces cultivés avec des cultures pures ou en association... Il s'agit maintenant de comprendre les modes de mise en valeur actuels et passés.

Dans un premier temps, il faut, à l'échelle de chaque unité de paysage, comprendre les relations spatiales et temporelles entre les parcelles : l'unité de paysage correspond-elle à une unité de mise en valeur ou à plusieurs ? Une discussion avec un ou plusieurs exploitants, à proximité de la zone concernée, permet de réaliser ce premier travail.

Dans un deuxième temps, chaque mode de mise en valeur doit être caractérisé :

- > comment se combinent dans le temps les périodes de culture et de jachère dans chaque unité de mise en valeur ?
- > quelles sont les périodes d'utilisation fourragère des espaces non cultivés ? Quelles sont les périodes d'utilisation fourragère des jachères ? Comment sont exploitées ces ressources (pâturage, fauche...) et quelles sont les pratiques d'entretien de ces espaces (feu, semis...) ?
- > comment sont exploitées, entretenues et régénérées les ressources ligneuses ? Les espaces sylvicoles sont-ils exploités également pour l'élevage ? Selon quelles modalités ?

Un entretien collectif sur le terrain permet de «dégrossir le sujet» : identification des successions et des calendriers culturaux. Les informations plus précises sur la conduite des cultures seront recherchées par entretiens individuels autour des pratiques mises en œuvre une année donnée sur une parcelle donnée.

Un troisième temps est consacré à l'histoire des modes de mise en valeur, en lien étroit avec celle des aménagements : il est utile, pour se projeter dans l'avenir, de reconstruire l'histoire récente du paysage :

- > quelles ont été les premières parties du territoire qui ont été cultivées ? Quelle était alors l'utilisation des autres espaces ? Quel était le paysage végétal d'alors ?
- > comment a progressé la mise en culture de l'espace ? Certaines activités (élevage, fabrication de charbon de bois...) ont-elles régressé avec le développement de l'espace cultivé et si oui, pourquoi ?
- > certaines espèces ou variétés cultivées ont-elles disparu ? Si oui, est-ce en relation avec l'évolution du milieu cultivé ? D'autres cultures se sont-elles développées ? Est-ce en remplacement de cultures qui ont disparu et si oui, lesquelles ? Les catégories d'animaux élevés ont-elles changé ? Comment ont évolué les effectifs ?
- > la pratique de la jachère dans les différentes unités de mise en valeur a-t-elle subi des transformations ? Lesquelles ?
- > le nombre de cultures pratiquées dans l'année a-t-il augmenté sur certaines unités de mise en valeur ? Quelles modifications techniques cela a-t-il entraîné ?

Si, dans le cas de paysages très anciennement mis en valeur, il n'est parfois plus possible de trouver des éléments de réponse pour les deux premiers points évoqués, il est extrêmement rare de ne pas trouver de modification à l'échelle d'une génération dans les modes de mise en valeur du milieu.

● L'accès des agriculteurs au foncier et aux ressources naturelles

Si le paysage suggère certaines formes d'appropriation plutôt que d'autres, il faut encore vérifier que les hypothèses tirées de l'observation sont les bonnes et approfondir les modes d'accès au foncier (cf. chapitre 23).

Pour chaque unité de mise en valeur, on essaiera de répondre aux questions suivantes :

- > les droits de propriété ou d'usage sont-ils individuels ou collectifs ? S'ils sont collectifs, à quel type de groupe correspondent-ils (famille, lignage, groupe de résidence...) ? Quelles sont les ressources auxquelles ces droits donnent accès (usage du sol, pâturage, cueillette des fruits, ramassage du bois...) ?
- > y a-t-il des terrains où coexistent un propriétaire et un usager ? Quel type de contrat (durée, droits et obligations des parties...) règle les relations entre propriétaire et usager ?
- > y a-t-il des individus ou des familles qui n'ont pas accès à cette unité de milieu ou qui n'y ont accès que moyennant la rétribution d'un «propriétaire» ?

Dans ce domaine, il est difficile de savoir *a priori* quelle sera la qualité des informations recueillies au cours d'une enquête rapide, individuelle ou collective.

Dans le cas de situations foncières inégalitaires, on peut en effet soit se retrouver en face d'interlocuteurs qui chercheront, au nom de la collectivité, à ne pas divulguer les problèmes et à développer un discours égalitariste, soit être plongé directement au cœur des problèmes, notamment lorsque les conflits autour de la maîtrise du foncier ont déjà eu des occasions de s'exprimer publiquement.

Une méthode possible consiste à recouper les informations issues d'un entretien collectif par des résultats d'enquêtes individuelles dans différentes catégories d'exploitations.

● Les successions culturelles, la gestion de la fertilité et les rendements

Des renseignements d'ordre agronomique doivent être recueillis sur chaque unité de mise en valeur. On peut chercher à répondre aux questions suivantes :

- > les cultures se succèdent-elles selon un certain ordre ou certaines règles ? Il est fréquent de ne pas avoir de succession bien déterminée mais cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas de règle : par exemple certaines cultures sont utilisées préférentiellement juste après jachère, d'autres juste avant, certaines cultures ne sont pas pratiquées après d'autres...
- > pratique-t-on des associations de culture pendant une ou plusieurs années du cycle cultural ? Quelles sont approximativement les densités pratiquées¹ ?
- > comment se combinent les successions de semis (ou plantations) et récoltes par rapport au calendrier climatique ?
- > quelles sont les pratiques de gestion de la fertilité utilisées sur cette unité de mise en valeur : apport de fumure minérale ou organique, pratique de jachères de moyenne ou de longue durée... ?
- > si la jachère est pratiquée, à partir de quels critères est prise la décision de mise en jachère et inversement quels sont les indicateurs de remise en culture ?
- > quelles sont les contraintes principales évoquées par les agriculteurs dans le cadre des successions de culture actuelles ?
- > quels sont approximativement les niveaux de rendement actuels et leur variabilité dans le temps et dans l'espace ?

¹ Il faut bien évidemment poser des questions sur les écartements et non sur les densités.

Ce travail nécessite, pour être riche en informations, d'être conduit à partir de plusieurs parcelles observées par unité de mise en valeur et de recueillir des données précises correspondant à ces parcelles, en combinant l'observation et l'enquête. Celle-ci utilise les unités de mesure locales et pose les questions de manière à ce que les agriculteurs puissent y répondre.

● Les principaux types d'élevage

Dans le domaine de l'élevage, les informations équivalentes à celles recherchées dans le domaine de l'agriculture sont nécessaires. Elles concernent :

- > *les effectifs élevés par exploitation*. Une première information élémentaire est de savoir, pour une espèce animale donnée, quelle est la proportion approximative d'exploitations qui pratiquent cet élevage. On peut ensuite demander une fourchette d'effectif et l'effectif le plus fréquemment rencontré dans les exploitations concernées ;
- > *le mode de conduite des animaux*. Un travail préalable est l'identification des différentes catégories d'animaux : un troupeau bovin peut par exemple être subdivisé en plusieurs catégories d'animaux (cf. chapitre 31) qui seront élevées de manières différentes. Pour chaque catégorie, on peut ensuite identifier des paramètres de conduite : identification des déplacements saisonniers et journaliers, mode d'alimentation et d'abreuvement des animaux selon la saison, conduite de la reproduction, actions menées dans le domaine prophylactique et vétérinaire ;
- > *le mode d'exploitation des animaux*. Les utilisations des ressources d'origine animale sont plus diverses que celles des produits végétaux : un troupeau bovin peut fournir à la fois du lait, de jeunes animaux, des animaux âgés, de la force de travail... Il convient donc avant de vouloir chiffrer la productivité d'un troupeau de bien identifier les différents produits recherchés et leur destination économique ou sociale. Il est par ailleurs souvent possible de mettre en relation les périodes d'exploitation avec des événements sociaux particuliers ou avec des périodes de besoin en trésorerie des exploitations ;
- > *la productivité du troupeau*. Du fait des usages multiples de certains produits, elle est difficile parfois à évaluer : le lait est souvent destiné pour partie à l'alimentation des jeunes et pour partie à la consommation humaine. La productivité numérique du troupeau est également difficile à établir : calculée à partir de l'effectif du troupeau, elle risque d'être très variable d'une période à une autre ; calculée à partir de paramètres zootechniques estimés, elle risque par oubli d'une source de mortalité, par sur ou sous-estimation d'un paramètre de ne pas être très fiable également.

Dans ce domaine, peut-être plus encore que dans celui des productions végétales, les résultats d'un premier travail d'enquête sont donc à interpréter prudemment. Le premier travail d'enquête fournit d'une part un certain nombre d'informations utiles et d'autre part des hypothèses à traduire en protocoles de suivi et en protocoles expérimentaux (cf. chapitre 61).

● La gestion familiale des moyens de production et du travail

Comprendre qui, à l'intérieur de la famille, est responsable de l'organisation du travail, de la gestion du matériel agricole, des animaux, des ressources foncières et de la trésorerie de l'exploitation est un élément-clé pour intervenir de manière correcte dans le milieu agricole.

La multiplicité des centres de décision est une caractéristique fréquente des petites exploitations familiales (cf. chapitre 31) : les surfaces cultivées peuvent être pour partie gérées par un individu au nom de l'ensemble de la famille et pour partie gérées individuellement par les individus. Le travail peut également se répartir entre :

- > une participation à des travaux collectifs sur des parcelles de l'exploitation gérée par le chef d'exploitation ;
- > une participation à des travaux collectifs sur des parcelles d'autres exploitations ;
- > un travail individuel géré par l'individu.

Dans ces situations complexes, il convient donc de bien identifier le gestionnaire des différents moyens de production. En effet, une proposition de réaffectation des ressources de l'exploitation peut paraître favorable en considérant l'exploitation comme un ensemble unitaire géré de manière centralisée et se révéler en fait défavorable aux intérêts d'un ou plusieurs individus et parfois même à l'ensemble de l'exploitation, dans le cadre d'une gestion basée sur une autonomie relative des différents membres de l'exploitation.

● **Les activités non agricoles**

Dans de nombreuses régions rurales, les revenus des activités de l'exploitation agricole sont complétés par d'autres revenus : commerce, artisanat, émigration... D'autre part, un certain nombre d'exploitations peuvent appartenir à des ménages n'ayant pas l'agriculture comme principale source de revenu.

Il convient de s'intéresser aux activités non agricoles et à ceux qui les pratiquent :

- > quelles sont les activités secondaires pratiquées par les familles dont l'activité de base est agricole ? S'agit-il d'activités saisonnières ou permanentes ? Quel est le rythme journalier ou hebdomadaire de ces activités ? Quel est le niveau d'investissement requis ? Quelle est l'importance des phénomènes migratoires ?
- > existe-t-il des exploitations agricoles appartenant à des personnes exerçant à titre principal une activité non agricole ? Quelle est leur emprise sur l'espace ? Quel type de main-d'œuvre est utilisé sur ce type d'exploitation ? Les spéculations pratiquées et les modes de conduite sont-ils différents de ceux rencontrés sur les autres exploitations ?
- > qui assure les fonctions de commercialisation des produits agricoles et l'approvisionnement en intrants ?

● **La diversité des ressources et des combinaisons²**

Il est exceptionnel de rencontrer une faible diversité des ressources. Très fréquemment, au sein d'un même village, les inégalités dans la répartition des ressources (terre, bétail, matériel...) sont de l'ordre de un à dix. Lorsque coexistent des exploitants très pauvres travaillant en culture manuelle et des paysans disposant d'un tracteur, les écarts en capital peuvent être bien supérieurs (de un à mille).

Même lorsque les écarts ne sont que de un à dix, les capacités d'évolution liées aux capacités d'investissement sont très différentes. Ces écarts se traduisent également par des différences dans les productions pratiquées et les techniques utilisées.

² Cf chapitre 31.

Une première approche qualitative de la diversité consiste à repérer des catégories d'exploitations sur la base des flux de main-d'œuvre. On peut rencontrer les situations suivantes :

- > des exploitations ayant trop peu de surface ou de capital pour occuper pleinement la main d'œuvre ou obligées de vendre du travail pour assurer la couverture des besoins essentiels ;
- > des exploitations occupant à peu près pleinement la main d'œuvre, pouvant à certaines périodes de l'année vendre du travail et à certaines autres en acheter ;
- > des exploitations où une partie importante du travail est réalisée par de la main d'œuvre non familiale mais où le chef d'exploitation assure lui-même la surveillance des travaux et tire l'essentiel de ses revenus de l'agriculture ;
- > des exploitations appartenant à des personnes exerçant à titre principal une autre activité qui finance fréquemment l'activité agricole et où la main d'œuvre familiale ne joue pratiquement aucun rôle.

Dans une situation donnée, on peut dans un premier temps vérifier l'existence ou non de ces différentes catégories avant de caractériser grossièrement chacune d'entre elles du point de vue du capital disponible, de l'accès aux différentes unités de milieu, des modes d'exploitation pratiqués dans chaque unité de milieu et des types d'élevage pratiqués. Il est rare qu'aucune relation n'apparaisse entre ces différentes variables.

Il est ensuite important d'essayer de comprendre grossièrement comment la différenciation sociale des exploitations a évolué sur quelques générations. Pour chaque type identifié, on tentera donc de décrire les caractéristiques des exploitations des parents et éventuellement des grands-parents.

Ce travail sur la diversité des exploitations peut être conduit à partir d'entretiens de groupe complétés par des entretiens individuels qui permettent au moyen de quelques «études de cas» de relativiser les informations générales obtenues en groupe.

LES OUTILS POUR METTRE EN FORME LES INFORMATIONS RECUEILLIES

L'ensemble des informations obtenues par observation, par enquêtes ou issues de l'analyse des données préexistantes doivent être traitées et mises en forme pour être restituées et mises en débat sous forme de présentation orale et/ou de document écrit ou visuel.

Cette mise en forme est également l'occasion de synthétiser les informations au moyen d'un certain nombre de concepts utiles à l'analyse du fonctionnement du milieu rural.

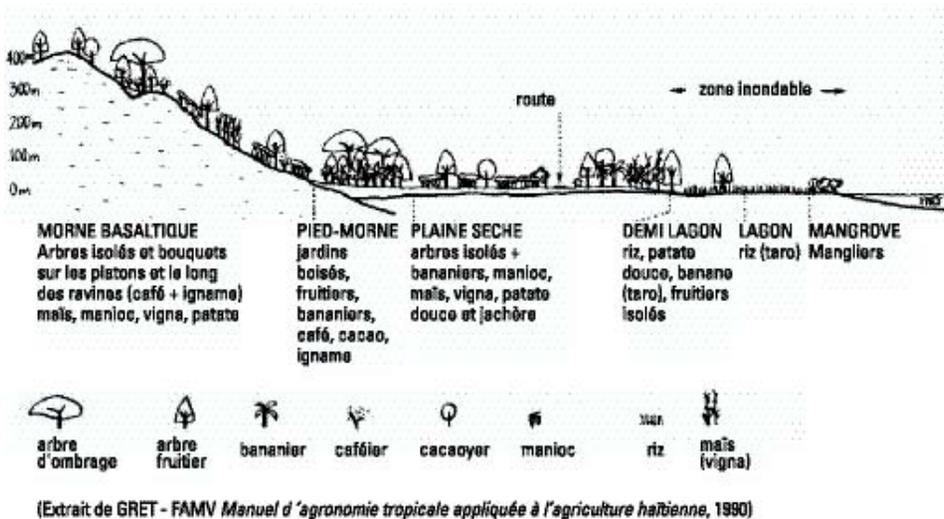
Les outils visuels, un support pour le dialogue

Les schémas et dessins sont des supports utiles de dialogue entre acteurs. Ils permettent de représenter de manière synthétique des informations complexes, et évitent en partie le recours à l'écrit. Ils sont largement utilisés en démarche participative, où l'on propose aux ruraux de réaliser eux-mêmes un certain nombre de schémas ou de cartes. Il faut cependant être attentif aux conditions dans lesquelles un schéma est lisible : clarté de la conceptualisation ; pertinence des catégories utilisées ; compréhension des symboles utilisés.

● Les représentations spatiales

● La représentation des toposéquences

Un moyen simple de représentation de la diversité des milieux et de leurs modes de mise en valeur est de faire une coupe de paysage. En général, la coupe principale suit la ligne de plus grande pente en partant d'un sommet ou d'un replat sommital principal pour aller vers la partie la plus en creux du paysage. Elle peut être complétée par des coupes secondaires perpendiculaires à la première permettant de représenter des vallons secondaires ou le profil en long de la vallée principale. Le parcours sur le terrain correspondant à une coupe est appelé un transect. La représentation sous forme de coupe est assez facile à réaliser. En général, on utilise des échelles horizontale et verticale différentes pour accentuer le relief. Sur ces coupes, il est possible de faire figurer la géologie, la pédologie, les limites des différentes unités de paysage repérées, les principaux modes de mise en valeur de l'espace.

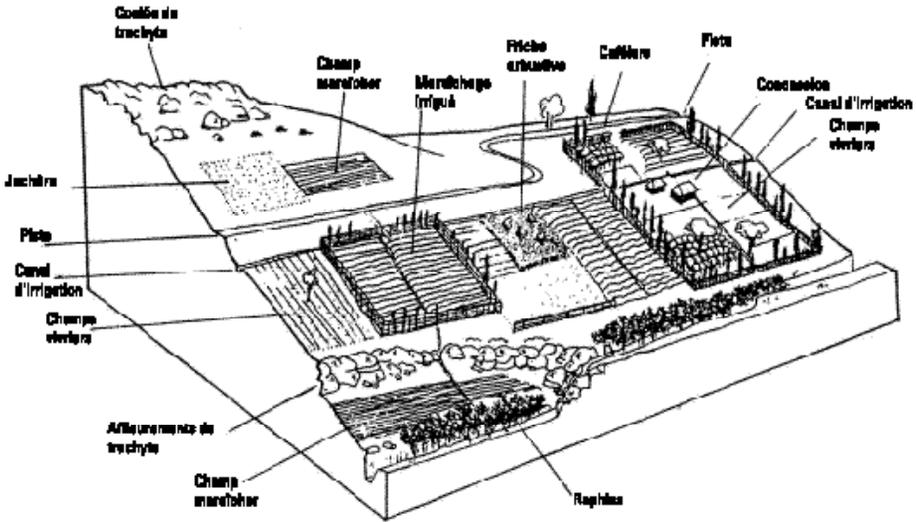


► Figure 4 : Exemple de transect : la région de Camp-Louise en Haïti

● Le diagramme paysager

Il permet de faire figurer sur le même schéma les trois dimensions et donc de donner une image du paysage très ressemblante à la réalité. Il demande cependant une bonne maîtrise du dessin en perspective et il est beaucoup plus difficile d'y respecter des échelles précises que sur une coupe. Il est également difficile d'y faire figurer autant de « couches d'information » car le diagramme devient très vite surchargé.

Coupes et diagrammes paysagers ne reflètent pas exactement et fidèlement un morceau du paysage. Ce sont des outils de représentation, forcément simplificateurs. Il est parfois utile de réaliser des coupes et des schémas de synthèse où figurent les éléments communs à plusieurs transects ou plusieurs blocs de paysage.



(Extrait de G. Klotz, *Les systèmes de culture en pays Bamiléké (Ouest Cameroun), mémoire EBAT CNEARC, 1988*)

► Figure 5 : Exemple de bloc-diagramme : le piémont de Djuttitsa (1600 à 2000 m) en pays Bamiléké (Cameroun)

● Le zonage

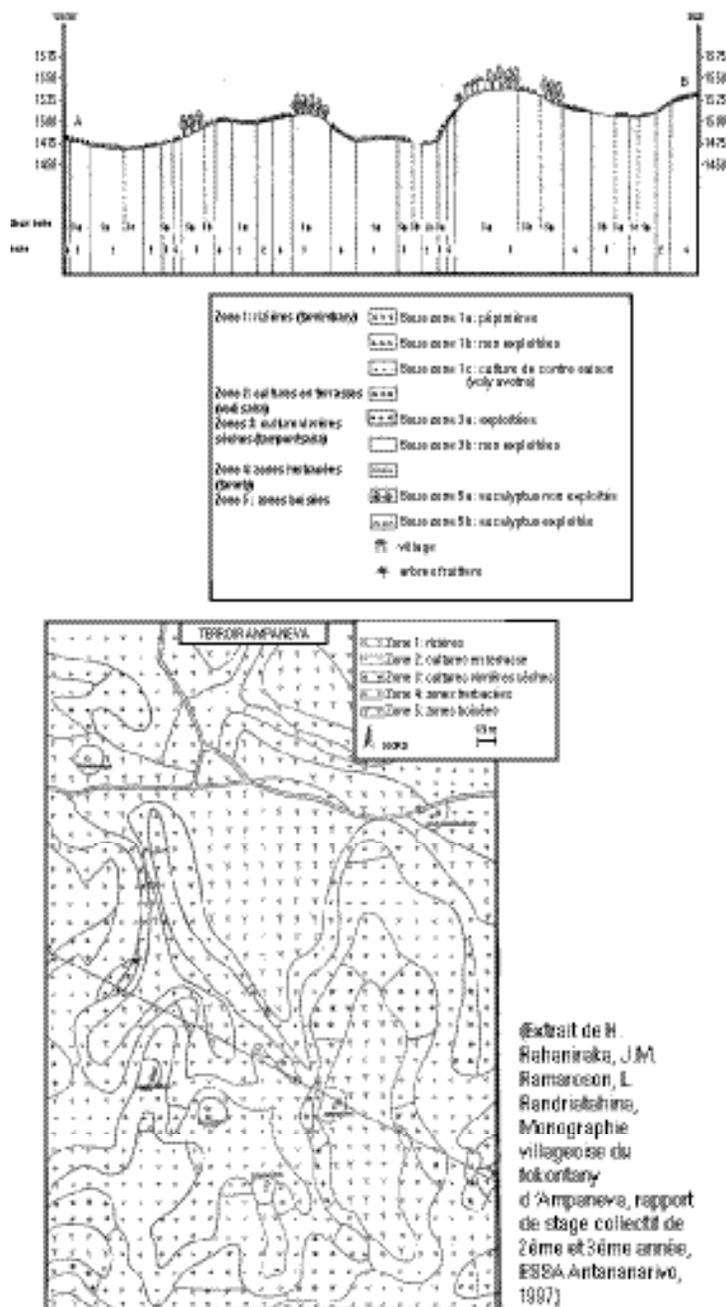
Les principaux modes de mise en valeur de l'espace ainsi que d'autres variables spatialisées peuvent être cartographiés. Si la représentation plane, sous forme de carte, ne permet plus d'expliquer l'organisation verticale de l'exploitation du milieu comme la coupe ou le bloc-diagramme, elle a par contre l'avantage de représenter la totalité de l'espace et permet donc, à l'intérieur d'un espace donné, de raisonner les proportions des différents modes d'occupation du milieu et leur évolution.

Les fonds de carte les plus simples à utiliser pour réaliser un zonage sont la carte topographique et les photographies aériennes. Le fond de carte topographique a l'avantage d'être exact pour le calcul des surfaces et de pouvoir faire figurer les principales courbes de niveaux, ce qui facilite la mise en relation des modes de mise en valeur avec la topographie. Les photographies aériennes permettent de faire une première esquisse de carte d'après photo qui sera ensuite corrigée après vérification sur le terrain. Le travail peut se faire avec un calque ou un transparent. Toutefois les photographies aériennes de base sont «déformées» : l'échelle n'est pas la même au centre et sur les bords de la photographie.

Les informations cartographiées peuvent être les principaux modes de mise en valeur du milieu, des modes de tenure foncière, etc. Il est important d'établir une carte pour chaque type d'information cartographiée. Un zonage synthétique peut éventuellement être réalisé dans un deuxième temps en superposant les différents types d'information.

Il est possible de réaliser des cartes en utilisant l'informatique. Mais la numérisation³ d'un fond de carte prend du temps et cette technique est intéressante seulement si le fond de carte est utilisé plusieurs fois : si plusieurs variables sont cartographiables pour chaque unité de surface ou si, pour une variable, on dispose de plusieurs valeurs correspondant à des périodes différentes.

3 Numérisation : mise sous forme de données informatiques.



► Figure 6 : Du transect à la carte : le terroir d'Ampanewa (hautes terres centrales de Madagascar)

● Le concept de système de culture

Le concept de système de culture est particulièrement opérant pour décrire la façon dont les agriculteurs gèrent leurs parcelles dans la durée, en observant certaines règles implicites ou explicites.

Ces règles concernent les domaines suivants :

- > fréquence et durée des périodes pendant lesquelles le terrain est cultivé puis ne l'est plus ;
- > nombre de cycles de culture dans l'année ;
- > ordre de succession des cultures ;
- > niveau d'artificialisation du milieu (modification des caractéristiques biophysiques du sol, apports d'intrants...).

Il permet de caractériser la gestion technique d'un ensemble de parcelles aux caractéristiques en général proches et auxquelles les agriculteurs appliquent des techniques voisines : un système de culture peut en effet être défini comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par :

- > la nature des cultures et leur ordre de succession ;
- > les itinéraires techniques⁴ appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.

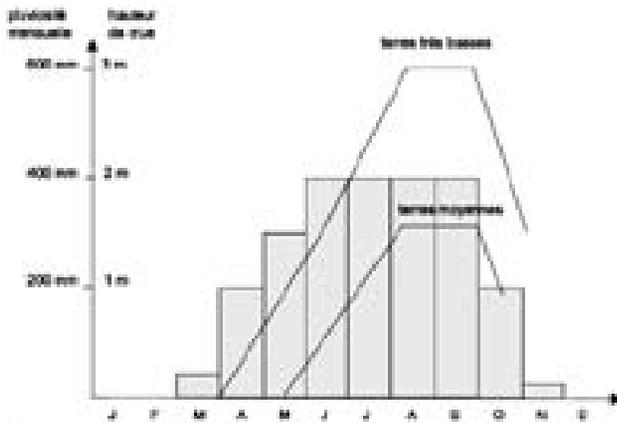
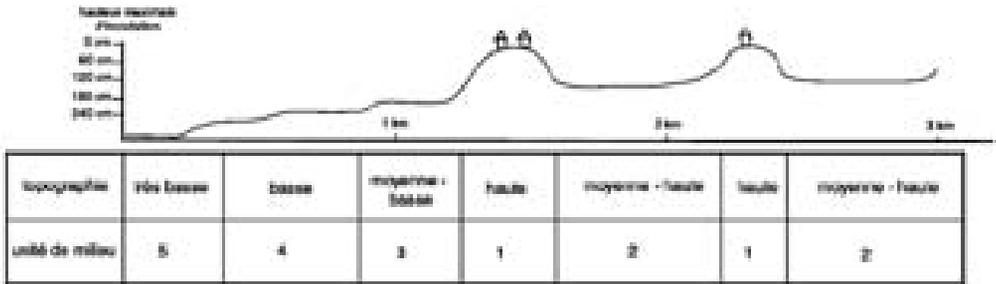
La figure 7 montre, dans le cadre de la Plaine du Brahmapoutre (Bangladesh), les principales unités de milieux et les principaux systèmes de culture rencontrés dans chaque unité de milieu. Le tableau 1 présente, dans le même cadre géographique, les itinéraires techniques appliqués à la riziculture dans deux systèmes de culture différents.

Tableau 1. Exemples d'itinéraires techniques rizicoles dans la plaine de Bramapoutre (Bangladesh)

	Riziculture de saison sèche	Riziculture de saison des pluies
Unité de paysage	Terres moyennes – hautes	Terres basses
Succession de cultures	Succession riz de saison sèche – riz de saison des pluies (répétée chaque année)	Succession (piment/oignon associés) – riz de saison des pluies (répétée chaque année)
Mode d'implantation du riz	Repiquage	Semis direct
Travail du sol	Labour à la charrue: un labour en conditions humides, plusieurs en conditions sèches	Arrachage des plants d'oignon et de piment – pas de labour
Période d'implantation	Milieu de saison sèche (janvier)	Début de saison des pluies (avril)
Type de variété utilisée	Variétés d'introduction récente : - non photopériodique - à paille courte ou moyenne (80 à 125cm) - valorisant bien les intrants	Variétés en général « traditionnelles » : – photopériodiques – à paille moyenne ou longue (150 à 350 cm) – valorisant moins les intrants que les variétés récentes
Fertilisation	Fertilisation NPK élevée	Fertilisation nulle ou faible (urée)
Désherbage	Deux désherbages en général	Un désherbage ou pas de désherbage en situation inondée
Irrigation	Irrigations à la préparation de la parcelle, à la transplantation puis 1 fois/semaine	Pas d'irrigation; inondation par la crue
Récolte	Mai	Décembre

4 Itinéraire technique : suite logique et ordonnée des opérations culturales appliquées à une parcelle en vue d'obtenir une production végétale.

1 Les diagnostics : comprendre pour agir



	terres hautes (unité 1)
	terres moyennes - hautes (unité 2)
	terres moyennes - basses (unité 3)
	terres basses (unité 4)
	terres très basses (unité 5)

(échelle : incidence verticale, 1:1, (haut, bas))

(d'après NGUYEN Thi Dieu Phuong, 1990 : Etude des pratiques rizicoles au Bangladesh en vue de l'introduction de la technique d'inoculation du riz, mémoire ENSIA-INPL / ISAT-CNRAIC)

► Figure 7 : Unités de milieu et systèmes de culture dans la région de Bil Belaï Plaine du Bramahpoutre (Bangladesh)

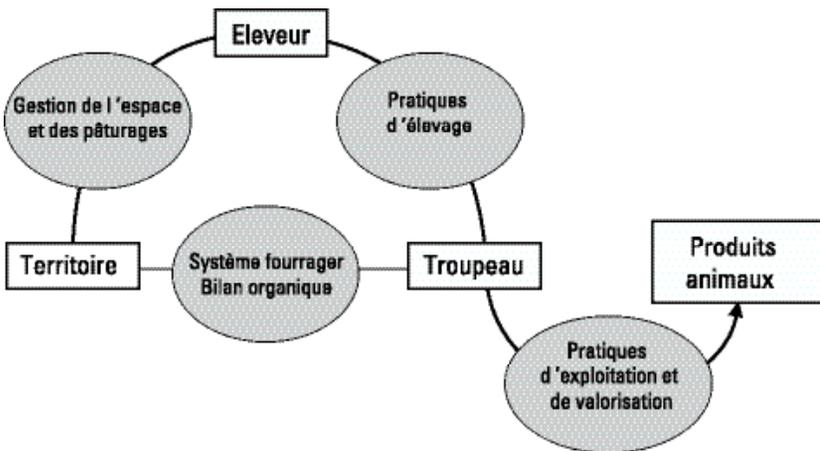
● Le concept de système d'élevage⁵

Un système d'élevage peut être défini comme l'ensemble des techniques et des pratiques mises en œuvre par une communauté pour faire exploiter des ressources végétales par des animaux dans un espace donné, en tenant compte de ses objectifs et de ses contraintes. La caractérisation d'un système d'élevage passe alors par celle de trois pôles constitutifs et de leurs relations : l'éleveur, le troupeau et le territoire.

Le chapitre 61 présente sous forme de tableau les éléments qui permettent d'analyser ces trois pôles et les relations qui les lient.

A l'échelle de l'exploitation agricole, une autre définition du système d'élevage est parfois utilisée : il s'agit d'une suite logique et ordonnée d'opérations techniques d'élevage appliquées à un ensemble d'animaux conduits de manière homogène. Dans une même exploitation, il peut y avoir plusieurs systèmes d'élevage distincts : un système d'élevage bovin laitier et un système d'élevage porcin naisseur par exemple.

La première définition se prête particulièrement à la caractérisation générale de l'élevage à l'échelle d'une petite région ou d'un village. La deuxième est plus adaptée à l'étude détaillée des différents ateliers d'élevage au sein d'une exploitation.



► Figure 8 : Les composantes du système d'élevage

● Les calendriers

Même dans les régions où le climat varie peu à l'intérieur de l'année, les cycles biologiques font de l'agriculture une activité saisonnière. Ce caractère saisonnier concerne pratiquement l'ensemble des variables qui permettent de décrire le fonctionnement d'une agriculture à l'échelle locale. Il est donc souvent pratique de représenter cette variabilité intra-annuelle par des calendriers : calendriers cultural, fourrager, calendriers de travail, de trésorerie, de consommation... Ces calendriers sont présentés dans le chapitre 32 consacré au fonctionnement technico-économique de l'exploitation.

⁵ Cf. chapitres 31 et 61.

● Les bilans

Dans le cadre d'une étude générale des modes d'exploitation d'un milieu, la priorité est accordée à l'information qualitative, à l'identification de difficultés rencontrées par les agriculteurs et à l'étude des modes d'ajustement : comment dans la période de l'année où les ressources alimentaires pour le bétail sont les plus faibles s'arrange-t-on pour équilibrer les ressources fourragères et les besoins du troupeau : en diminuant la taille du troupeau, en faisant maigrir les animaux, en constituant des stocks fourragers, en exploitant des ressources non valorisées pendant les autres périodes, en déplaçant les animaux... ?

Les bilans, même grossiers et qualitatifs, permettent de représenter ces ajustements. En effet, un bilan est généralement équilibré d'une manière ou d'une autre, à court ou à long terme, et ce qui est important est la manière dont les agriculteurs l'équilibrent. Le qualitatif est donc dans un premier temps plus important que le quantitatif.

Tableau 2. Analyse simplifiée des transferts de fertilité et bilan de matière organique sur le plateau de Rochelois (Haïti), d'après *Paysans, systèmes et crises*

De	Jardin A Parcelle boisée autour de l'habitation	Jardin B Parcelle de cultures annuelles proche de l'habitation	Jardin C Parcelle de cultures annuelles éloignée de l'habitation	Porcins	Bovins et équins	Bilan: évolution sur le long terme du taux de matière organique du sol
Jardin A	Résidus de culture Bois	Bois	Bois Fanes et gousses de haricot Spathes de maïs	Fumier et lisier		Bilan positif
Jardin B		Résidus de culture	Fanes et gousses haricot Spathes de maïs	Fumier	Fumier	Bilan nul ou de légèrement négatif
Jardin C			Résidus de culture			Bilan négatif
Porcins	Fruits Lianes	Fanes de patate douce Adventices	Fanes de patate douce Adventices			
Bovins et équins	Stipes de bananiers Herbe de Guinée	Adventices	Chaumes et feuilles de maïs			

● Les typologies

Bâtir une typologie, c'est décrire la diversité des situations en la représentant sous la forme de catégories ou types, un individu observé ou enquêté pouvant être rattaché en général à un type qui en présentera les principales caractéristiques. On peut être conduit à réaliser une typologie d'individus, une typologie d'exploitations agricoles, une typologie de situations foncières, une typologie d'activités économiques, etc.

La typologie simplifie la réalité en la réduisant à quelques principaux types à partir de critères jugés pertinents par rapport au problème étudié. Chaque type peut être décrit de manière détaillée à partir de ses éléments invariants et de ses éléments variables.

Une typologie peut être réalisée avec des degrés de précision très divers. Ainsi, celle d'exploitations agricoles dans une région donnée ne comportant que trois catégories («les gros», «les moyens», «les petits») fera certainement sourire les chercheurs. C'est cependant un outil extrêmement utile pour faire réfléchir techniciens et agriculteurs aux problèmes locaux du développement et apporter des informations originales sur ce qui, localement, caractérise ces trois catégories. La précision souhaitable d'une typologie est donc fonction de son utilisation ultérieure.

LES ALLERS ET RETOURS ENTRE LES PHASES

Cette présentation d'un exemple de diagnostic permet de souligner :

- > l'importance de fixer rapidement les limites du champ et des méthodes d'investigation : limites spatiales et temporelles, échelles de travail privilégiées, types de points de vue que l'on cherche à développer. Ces éléments sont intimement liés au contexte dans lequel est réalisé le diagnostic et nécessite donc de répondre au préalable à la question : un diagnostic, pourquoi ?
- > le rôle des hypothèses, implicites ou explicites, qui guident le travail d'investigation: elles permettent de préciser objets étudiés et méthodes d'étude. La définition des hypothèses fait appel à des références extérieures et des modèles théoriques : on essaiera d'établir si la réalité étudiée s'en approche ou s'en éloigne.

Il est commode de séparer le diagnostic en plusieurs phases : observations de terrain, enquêtes, mise en forme des résultats, restitution et discussion des résultats, synthèse des points de vue. En fait la richesse du diagnostic et son intérêt pour construire des projets véritablement participatifs sont largement liés à l'importance des interactions entre ces différentes phases : des allers-retours fréquents entre observations, entretiens de différents types et échanges de points de vue sont nécessaires pour arriver à une qualité d'information intéressante.

Bibliographie

- MONDAIN MONVAL J.F., 1993, *Diagnostic rapide pour le développement agricole*, Collection LPS, GRET - Ministère de la Coopération - ACCT Paris, 128 p.
- GRET, FAMV, 1994, *Manuel d'agronomie tropicale. Exemples appliqués à l'agriculture haïtienne*, Paris, GRET, 490 p.

A grayscale photograph of a person, likely a woman, in a rural agricultural setting. She is wearing a light-colored, long-sleeved shirt and is looking down, possibly at a basket or a piece of equipment. The background is filled with large, broad leaves of banana plants, creating a dense, textured environment. The overall tone is somber and focused on rural development.

2 INTERVENIR SUR L'ENVIRONNEMENT DES EXPLOITATIONS

2.1 Les interventions de
développement rural

2.2 L'appui aux organisations
rurales et les services
aux producteurs

2.3 La gestion des ressources
naturelles



2 1

Les interventions de développement rural

2.1.1 L'articulation des niveaux
d'intervention

2.1.2 La démarche projet



L'articulation des niveaux d'intervention

À partir des contributions de C. Castellanet (GRET)
et O. Durand (Ministère des Affaires étrangères)

POLITIQUES AGRICOLES ET INTERVENTIONS DE TERRAIN

● *L'évolution des politiques agricoles*

● **La fin des interventions directes de l'Etat**

Jusqu'aux années 80, les Etats ont tenté d'assurer eux-mêmes la plupart des fonctions supposées nécessaires au développement de l'agriculture. Ils établissaient, selon des procédures centralisées et descendantes, une programmation rigide de l'ensemble des investissements et des actions à entreprendre dans le secteur agricole. Ces plans de développement étaient élaborés sans la participation des acteurs de terrain, et notamment des agriculteurs.

La dégradation des situations économiques nationales et la diminution des ressources des Etats ont progressivement transformé ces plans en de simples listes de réalisations proposées aux bailleurs de fonds. L'exercice visait alors plus à s'adapter aux offres de financement extérieur qu'à impulser des politiques cohérentes.

À partir de 1980, les institutions de Bretton Woods ont fortement incité les Etats à limiter leurs interventions directes dans les activités productives. Les modalités des interventions ont alors beaucoup changé. Les services de l'Etat interviennent moins directement dans les activités en amont et en aval de la production agricole. D'autres acteurs sont mieux placés et plus efficaces pour assumer certaines fonctions économiques.

Cette évolution ne signifie pas la fin des politiques économiques et sectorielles. L'Etat conserve un rôle essentiel en matière de régulation économique et sociale, comme le montre aujourd'hui l'élaboration de politiques nationales de lutte contre la pauvreté. Il doit offrir aux acteurs économiques les cadres légaux et réglementaires susceptibles de favoriser et soutenir leurs activités. L'action des services de l'Etat est centrée sur la sécurisation des activités productives et de l'environnement socio-économique des exploitations.

L'enjeu est de contribuer aux grands objectifs nationaux : la sécurité alimentaire, l'équilibre de la balance des paiements, la croissance de l'emploi et des revenus en milieu rural, la gestion durable des ressources naturelles.

Ces objectifs impliquent des politiques sectorielles aux finalités ciblées, qui s'attachent notamment à renforcer la compétitivité des filières de production, à assurer la sécurité sanitaire des produits alimentaires, ou à protéger les agriculteurs des nombreux aléas auxquels ils sont confrontés : climat, fluctuation des prix, etc.

● **Les composantes d'une politique agricole**

Une politique agricole doit favoriser le développement des activités productives en améliorant leur environnement légal, fiscal, institutionnel et économique ; elle doit contribuer à sécuriser les exploitants dans leurs activités de production agricole. Elle est composée des éléments suivants :

- > des objectifs clairs et précis assignés à l'agriculture, au regard des objectifs et de la stratégie nationale de développement économique à long terme ;
- > un ensemble de moyens humains, financiers et techniques pour atteindre ces objectifs ;
- > un ensemble d'institutions et de mécanismes destinés à l'action et à la régulation des rapports entre les acteurs économiques de l'agriculture (en précisant le rôle de chacun), et entre l'espace national et son environnement international.

Elle se décline généralement en composantes sectorielles et en actions transversales :

- > les premières s'appliquent aux différentes productions ou familles de productions, aux filières d'exportation, aux productions vivrières, à l'élevage et la santé animale, aux ressources naturelles : forêt, eau... ;
- > les secondes s'attachent aux principaux moyens d'action qui permettent d'intervenir sur l'évolution du secteur, ce qu'on appelait auparavant «l'encadrement de l'agriculture» : la formation professionnelle, la vulgarisation et le conseil technique, l'information des agriculteurs et des organisations de producteurs, la recherche agronomique. Le fait que l'Etat n'y intervienne plus directement ne signifie pas qu'il se désintéresse des moyens, du cadre réglementaire et de la supervision de ces activités. La fiscalité, le crédit et les assurances agricoles, l'évolution des structures foncières, la protection sanitaire ont également besoin de cadres légaux adaptés, de mécanisme de régulation et parfois d'investissements publics.

Une politique agricole est une politique sectorielle. Elle est spécifique et bénéficie d'une certaine autonomie dans sa définition comme dans son application. Elle doit cependant être cohérente avec la politique économique globale du pays et avec sa stratégie de développement à long terme, dont elle est une des composantes. Cela lui impose un certain nombre de contraintes. Elle ne peut non plus être totalement déconnectée des autres politiques sectorielles, dans le domaine social ou dans celui de l'aménagement du territoire par exemple.

L'élaboration d'une politique agricole représente un enjeu démocratique. Elle doit permettre aux représentants des producteurs d'exprimer leurs points de vue et leurs attentes, et s'accompagner d'un débat public sur le rôle de l'agriculture dans le développement économique. Ce débat doit être décentralisé, avec la participation des agriculteurs aux échelons locaux, régionaux et nationaux. Il s'agit non seulement de prendre en compte les réformes de décentralisation à l'œuvre dans de nombreux pays, mais aussi de veiller à une meilleure articulation entre la politique agricole nationale et les initiatives de terrain.

● **Mieux relier politiques rurales et interventions auprès des producteurs**

● **La politique agricole influe sur les interventions de terrain**

Un constat est régulièrement établi : celui du manque de cohérence des interventions sur le terrain. Des projets similaires sont souvent conduits sans coordination dans une même zone, simplement juxtaposés à d'autres projets ou à des structures nationales. Les actions proposées et les approches utilisées peuvent être différentes, voire contradictoires. Nombre d'interventions restent concentrées sur une région ou une localité, sans articulation avec des processus de réflexion et de décision régionaux ou nationaux.

Une attitude fréquente des intervenants sur le terrain consiste par ailleurs à considérer qu'il n'y a pas de politique agricole. Or il existe souvent un minimum de documents de nature politique, qui fixent des orientations et certaines règles ou qui précisent par exemple le cadre juridique ou fiscal des actions menées : droit associatif, fiscalité locale, ...

Face à ces constats, il est aujourd'hui impératif que les projets de développement ne restent pas concentrés sur leurs objectifs et leurs activités propres. Si l'action demeure focalisée sur une petite échelle, la réflexion doit s'élargir et prendre en compte les orientations fixées par l'Etat dans sa politique agricole.

● **L'implication des producteurs dans la définition des politiques**

Très souvent, la politique agricole est perçue par les acteurs en prise directe avec le terrain comme un exercice factice, réalisé par les technocrates de la capitale, coupés des réalités et des problèmes des paysans. Beaucoup d'intervenants ne se sentent pas concernés par les processus de réflexion menés à des niveaux régionaux ou nationaux.

Ce type d'attitude isole les différentes interventions, sans leur donner l'opportunité de valoriser les acquis au niveau local à une échelle plus large. Or, une politique agricole ne doit pas être considérée seulement sous un angle contraignant, imposant des normes et des règles. Comme cela a été évoqué précédemment, elle vise à sécuriser le producteur, à l'aider à lever les contraintes auxquelles il doit faire face et à créer un environnement favorable au développement de ses activités. Elle intègre désormais la prise en compte du point de vue des représentants des agriculteurs et doit être nourrie par les expériences de terrain.

Cette dimension apparaît essentielle à une période où les interventions de terrain s'efforcent de développer des démarches participatives. Afin de concrétiser ce principe d'intervention, les agronomes et techniciens doivent aider les producteurs à participer activement aux débats sur le développement agricole. Dans cette optique, le travail de soutien aux agriculteurs et aux responsables professionnels doit contribuer à renforcer leurs capacités d'analyse, de compréhension de leur environnement socioéconomique et de formulation de propositions.

● **Faire évoluer les politiques en fonction des réalités de terrain**

Il s'agit en particulier d'instaurer une concertation permanente entre l'Etat et la profession agricole sur la mise en œuvre de la politique agricole.

Cette concertation doit également associer le secteur privé (transformateurs, commerçants, exportateurs, transporteurs...) par la mise en place d'instances interprofessionnelles de dialogue et de négociation. Dans les démarches de développement local, cette concertation doit impliquer les collectivités territoriales décentralisées.

Enfin, une politique agricole n'est pas figée : elle doit suivre les évolutions observées sur le terrain et s'ajuster à l'impact positif ou négatif de son application. De ce fait, l'apport des expériences de terrain, en termes de capitalisation des actions réussies et d'analyse des échecs, est primordial pour adapter son contenu. Dans un contexte de pauvreté des données statistiques fiables à l'échelon national, c'est souvent à l'échelle des interventions que pourront être recueillies des données d'impact des actions sur le revenu agricole, la production etc.

L'élaboration d'une politique agricole est un processus permanent de réflexion sur lequel agronomes et techniciens peuvent influencer, qu'ils doivent alimenter et enrichir par leur connaissance du terrain et leur analyse des actions entreprises avec les producteurs. Ils peuvent également favoriser l'expression des paysans et leur participation réelle aux processus de réflexion et de décision.

LES NIVEAUX D'INTERVENTION DU DÉVELOPPEMENT RURAL

On a souvent tendance à privilégier un niveau d'intervention particulier dans les opérations de développement agricole. Les opérations de vulgarisation privilégient souvent des productions particulières (coton, riz, café par exemple) au sein des exploitations agricoles, voire des techniques particulières (campagne de vaccination, introduction de nouvelles variétés).

Au niveau régional, des programmes d'appui aux organisations paysannes côtoient des programmes de réalisation d'infrastructures vitales pour les paysans (routes, marchés, aménagements de terroir).

Au niveau national, des moyens sont mobilisés pour améliorer les politiques publiques et l'environnement économique des exploitations. Ces opérations sont cependant rarement articulées, c'est-à-dire liées les unes aux autres, au moins au niveau de la circulation de l'information qui est essentielle pour optimiser les interventions.

● **Prendre du recul**

Quel que soit le type d'activité ou de programme considéré, il est important que ses responsables ne se focalisent pas exclusivement sur des activités à mener et des informations à collecter à un niveau donné, mais se donnent le recul nécessaire pour situer leur intervention dans un cadre plus général. Cela peut permettre d'adapter la stratégie du programme à de nouvelles conditions d'environnement des exploitations (par exemple nouvelle loi foncière ou nouveaux débouchés pour les produits agricoles). Il peut aussi arriver que de nouvelles pistes d'intervention soient détectées, et méritent d'être développées progressivement, la stratégie initiale du programme perdant progressivement de sa pertinence.

● **Des interventions évaluées et évolutives**

Dans le domaine du développement agricole, il faut savoir adapter les interventions à un contexte qui change parfois rapidement, et également tirer les leçons des résultats obtenus et des difficultés rencontrées ; sans pour autant rejeter toute planification des interventions, basée sur des objectifs précis et une stratégie explicite (souvent formalisée dans le fameux *cadre logique*, cf. le chapitre 212). Mais il faut prévoir une réévaluation périodique de cette stratégie, sur la base des résultats obtenus et en la replaçant dans le contexte de l'ensemble du secteur agricole. D'où l'importance de réaliser et d'actualiser périodiquement un diagnostic « global » de la situation et de l'environnement des agriculteurs au niveau local, régional et national.

En fonction de cette actualisation, des réorientations parfois profondes des interventions peuvent se révéler nécessaires. L'observation montre que les projets de développement agricoles réussis sont en général ceux qui ont suivi un processus d'apprentissage dans la durée, en commençant petit pour grandir progressivement, et non ceux qui ont utilisé une méthode de planification rigide, avec une intervention massive limitée dans le temps.

D'où aussi l'intérêt d'articuler différentes formes d'intervention, non pas nécessairement au sein d'un même programme ou projet, mais au niveau de réseaux de circulation de l'information et de dialogue entre intervenants au niveau local (*micro*) et spécialistes du niveau régional ou national (*macro*).

● **Les niveaux et les types d'intervention**

Notre objectif n'est pas de décrire en détail les différents types d'interventions possibles en matière de développement agricole. Plus modestement, nous proposons simplement un tableau synthétique des différents types d'interventions possibles aux différents niveaux d'analyse, afin que le lecteur puisse situer les interventions et méthodes présentées dans les chapitres suivants du *Mémento* dans un cadre général.

Nous partirons des niveaux successifs suivants (du local au global) : productions (cultures et élevage) ; exploitations (familles paysannes) ; petite région ; nation.

On aurait pu insérer un cinquième niveau (le niveau villageois ou communautaire), entre l'exploitation et la petite région. Nous ne l'avons pas fait par souci de simplification et parce que l'expérience des opérations de gestion de terroir montre que souvent on doit intégrer l'ensemble de la petite région pour raisonner la gestion des ressources naturelles, du fait des interrelations qui existent entre communautés au niveau des bassins versants (pour la gestion des eaux en particulier) et de l'importance de l'élevage transhumant.

Au vu du tableau, il apparaît que les questions posées au niveau des productions et des exploitations paysannes sont traitées avec beaucoup de détails tout comme celles de développement agricole au niveau de la petite région. Par contre, le niveau des politiques agricoles est peu traité. Il est cependant important de prendre conscience, dans toute opération de développement agricole localisée dans le temps et dans l'espace, de l'importance de construire des ponts avec les décideurs au niveau national.

Cela permet, d'une part, d'être informé des changements de politique qui pourront affecter les agriculteurs et le projet à l'avenir, et, d'autre part, d'obtenir des informations sur les impacts des actions nationales envisagées dans la région de travail. Il est évidemment souhaitable que les agriculteurs eux-mêmes puissent participer à ces échanges, en particulier à travers leurs organisations professionnelles.

Tableau 1. Les types d'intervention en milieu rural

Niveau	Type d'intervention	Intervention	Chapitres	Chapitres liés (articulation avec les autres niveaux d'intervention)
Les productions de l'exploitation	<i>Amélioration des productions végétales</i>	Amélioration des systèmes de culture	421 à 424, 431 à 438	Chapitre 32 : le fonctionnement technique et économique de l'exploitation agricole
		Introduction de nouvelles variétés	422 à 424, 431, partie 5	
		Amélioration du stockage et de la première transformation des productions	437 et partie 5	
	<i>Amélioration des productions animales</i>	Amélioration de l'alimentation des animaux	62, 65 et partie 7	
		Sélection génétique et gestion	65 et partie 7	
		Amélioration de la santé animale	67 et partie 7	
		Amélioration de la qualité et conservation des produits animaux	63 et partie 7	
L'exploitation agricole	<i>Conseil de gestion (conseil technico-économique)</i>	Calcul de la rentabilité des différentes spéculations, comparaison de performances entre exploitations, analyse des calendriers (travail, trésorerie,...)	31, 33	Parties 3, 5, 7 Section 41 Chapitres 61 à 64 : on doit intégrer les informations de base sur les systèmes de culture et d'élevage et sur la transformation des produits
		Suivi et conseil sur le crédit	31, 223	
		Appui à la gestion de la fertilité	31, 431, 432, 433	
		Appui au raisonnement des assolement, rotations	31, 421, 423, 424	
		Diversification des productions (introduction de nouvelles productions végétales ou animales) et diversification des produits transformés	31, 32, 33, 222, 63 42, 431, 437	
		Appui à l'intégration agriculture/ élevage	31, 234, 422, 423	
		Appui à l'équipement et à la mécanisation	437, 438	
		Appui à la gestion de l'énergie	438	
		Appui à l'innovation paysanne	33, 224, 422	

Niveau	Type d'intervention	Intervention	Chapitres	Chapitres liés (articulation avec les autres niveaux d'intervention)
La petite région et les communautés paysannes	<i>Gestions des terroirs, aménagements agro-sylvo-pastoraux</i>	Gestion de terroir	232	231: l'analyse des systèmes fonciers et des modes de gestion des ressources naturelles
		Aménagements anti-érosifs	233	
		Gestion des forêts et pâturages communautaires	234	
	<i>Construction d'aménagements et d'infrastructures collectives</i>	Périmètres irrigués	235	222 (filières)
		Aménagements de bas-fonds	236	
	<i>Formation et information des agriculteurs</i>	Infrastructures de transport (routes) et marchés ruraux, électrification rurale	438	232 (gestion de terroirs) 63 (produits animaux)
		Dispositifs de formation professionnelle	224	
	<i>Appui aux organisations de producteurs</i>	Centres de services techniques ; vulgarisation	224	222 (filières)
		Radios rurales, info sur les marchés...	224	
	<i>Appui au secteur privé et aux interprofessions</i>	Organisation de l'approvisionnement	221, 222	Liés entre eux et liés aux aspects précédents : gestion d'infrastructures collectives, gestion des terroirs
Organisation de la transformation et commercialisation des produits		221, 22		
<i>Appui au secteur privé et aux interprofessions</i>	Travail sur les filières	222		
<i>Organisation du crédit agricole</i>	Appui aux systèmes financiers décentralisés	223	31 (économie des exploitations) et 21 (articulation avec la politique publique de crédit en milieu rural)	
La nation et les collectivités locales décentralisées		Politique foncière et de gestion des ressources naturelles		23 : la valorisation et la gestion des ressources naturelles
	<i>Appui à la formulation de politiques pour le développement agricole et rural</i>	Politique économique: politique d'investissements publics et de crédit, Soutien aux filières nationales et politiques douanières pour les produits agricoles et intrants		222, 223 (appuis à la structuration des filières, crédit) 42, 43 (stratégies de diversification de la production)
		Politique d'éducation, de formation et d'information		224 (formation professionnelle et diffusion du progrès technique), 33 (appui à l'innovation)
	Politique sociale orientée vers le secteur rural, politiques d'emploi		211, 212 (articulation politiques - projets)	
	Décentralisation et politique institutionnelle		221 (organisations paysannes), 23 (gestion des ressources naturelles), 212 (planification et gestion des interventions)	

La démarche projet

À partir d'une contribution de D. Neu (GRET)

La plupart des organisations de développement conduisent leurs propres actions «par projet». Elles interviennent souvent, notamment en milieu rural, en accompagnant les projets d'acteurs locaux. Les agronomes qu'elles emploient sont donc doublement concernés par ce qu'on appelle la *démarche projet*.

LES LIMITES, LES ACTEURS ET LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE PROJET

Le mot projet est utilisé aux différents stades d'une opération. Il peut n'être encore qu'une idée. Il peut déjà avoir pris la forme d'une série d'objectifs ordonnés et d'un plan précis élaboré pour les atteindre. Il peut enfin s'être concrétisé par un ensemble d'objets ou d'actions en cours de réalisation.

Le mot peut non seulement désigner une opération à ses différents stades, mais aussi la structure chargée de la mettre en œuvre, ou même la seule décision d'un bailleur de la financer.

● *Qualités et limites*

● **Une boîte à outils polyvalents**

La démarche projet est un terme très général qui désigne la façon de conduire un projet de sa conception à son achèvement. On peut l'appliquer à toute opération qui a une finalité, des objectifs, un cheminement, et donc une fin.

Cette démarche s'est répandue au cours de ces dernières années. Elle est devenue le mode de gestion d'une partie croissante de l'activité des entreprises, des services publics et des acteurs sociaux. Elle permet d'accroître les capacités d'innovation et d'adaptation des organisations qui l'adoptent.

Elle recouvre désormais une série de méthodes et d'outils assez codifiés mais très polyvalents, qui peuvent s'appliquer à des opérations de toute nature et de toute taille.

En effet, tout projet (ou presque) :

- > suit une progression qui passe par des étapes analogues ; chacune de ces étapes peut être régie par quelques règles invariantes ;
- > implique des systèmes d'acteurs assez similaires ;
- > nécessite de recourir à des outils de prévision et de régulation qui fonctionnent sur des principes assez semblables.

Mais cette polyvalence a ses limites. Ces méthodes et ces outils sont aux concepteurs et aux chefs de projet ce que la clef anglaise est au mécanicien. Ils permettent de bricoler et de dépanner dans de nombreuses situations.

Mais dès que la mécanique se complique, ils doivent être complétés par des outils plus spécialisés, choisis en fonction des mécaniques sur lesquelles on travaille.

● **Un instrument critiqué**

Le *projet* désigne également le principal mode de contractualisation entre les acteurs du développement et leurs partenaires financiers. Ces derniers ont d'importantes contraintes de gestion, qui les ont longtemps conduits à privilégier des projets d'un certain type. Leur durée était prévue en général sur trois ou quatre ans, éventuellement renouvelables ; leur plan d'action devait être précis ; leur budget détaillé était contraignant ; ils privilégiaient les réalisations «visibles». Leur dimension importante nécessitait des opérateurs capables de donner des garanties aux bailleurs et ravalait les acteurs locaux au rôle de sous-traitant ou de bénéficiaire.

Ce type de projet a été très critiqué. Il était adapté à la réalisation d'infrastructures, mais ne permettait pas d'accompagner la progression d'acteurs sociaux. Il ne correspondait pas aux contextes où la réussite dépend moins de l'art de la prévision que de la faculté de s'adapter à l'imprévu. Son pas de temps était trop court pour accompagner des démarches de développement qui doivent se gérer sur des durées plus longues. Leur planification rigide était trop contraignante pour des acteurs locaux qui progressent à leur rythme, sur un mode itératif, en tirant au fur et à mesure les leçons de leur expérience. On reprochait enfin à ce modèle de projet d'être presque le seul outil de financement accessible aux opérateurs. Ceux-ci ne pouvaient donc survivre que par une incessante chasse aux projets dont on identifiait de mieux en mieux les effets pervers.

À une époque, on a employé le mot projet dans les milieux du développement pour désigner et pour remettre en cause ce type de projet particulier.

● **Les autres formes d'interventions : programmes, contrats cadres et dispositifs**

Face à ces critiques, les bailleurs du développement ont introduit plus de diversité et de souplesse dans leur «modèle» de projet et dans son mode d'élaboration et de négociation.

Le mot *programme* est souvent utilisé pour désigner des cadres d'intervention plus vastes et moins contraignants que les projets. Ils sont conçus sur des durées plus longues, sur des échelles géographiques plus vastes. Leurs objectifs sont plus généraux. Leur exécution n'est pas définie *a priori* avec précision, mais elle obéit néanmoins à des principes et à des règles fixées à l'avance. La mise en œuvre des programmes peut prendre la forme d'une succession de projets conçue de façon souple et progressive, et dont la coordination est confiée à une agence d'exécution.

Les *contrats cadres* sont une autre forme de contractualisation entre les acteurs du développement et leurs partenaires financiers. Bâties sur des finalités partagées, ils définissent des objectifs généraux communs et fixent des obligations et des règles de conduites réciproques. Ils peuvent annoncer des montants et des procédures d'engagements financiers. Ils offrent ainsi aux deux partenaires un cadre pour contractualiser ultérieurement la réalisation de projets. Ils peuvent ainsi travailler dans la durée, avec un maximum de souplesse et sécurité.

Les *contrats d'objectifs* ressemblent aux contrats cadres. Mais le bailleur s'engage immédiatement à financer les activités de son partenaire qui vont concourir à atteindre des objectifs définis en commun. Il laisse à ce dernier la liberté et la responsabilité de choisir et de mettre en œuvre les moyens nécessaires à ses actions. Les deux partenaires s'accordent en général aussi sur des procédures de suivi et d'évaluation du contrat.

Les contrats cadres et les contrats d'objectifs associent des partenaires qui se connaissent depuis longtemps et se font confiance. Les bailleurs les réservent à des opérateurs qu'ils jugent suffisamment fiables et performants. Pour travailler avec souplesse avec des acteurs moins expérimentés, ils mettent en place *des dispositifs* constitués le plus souvent de deux outils, un outil financier et un outil d'appui et de conseil. Ces dispositifs peuvent être utilisés pour de multiples objectifs. Bien conçus, ils permettent par exemple d'accompagner des acteurs qui n'ont pas encore la capacité d'élaborer seuls leurs projets ou qui progressent par succession de projets peu formalisés et de petite dimension.

● Les acteurs

La démarche projet a suscité une abondante littérature. Tous les auteurs n'utilisent pas le même vocabulaire pour désigner les différents acteurs impliqués dans un projet de développement et le rôle qu'ils y jouent.

● Le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre

Beaucoup d'auteurs francophones utilisent un vocabulaire issu des travaux d'infrastructures publiques. Ils distinguent le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et les réalisateurs d'un projet.

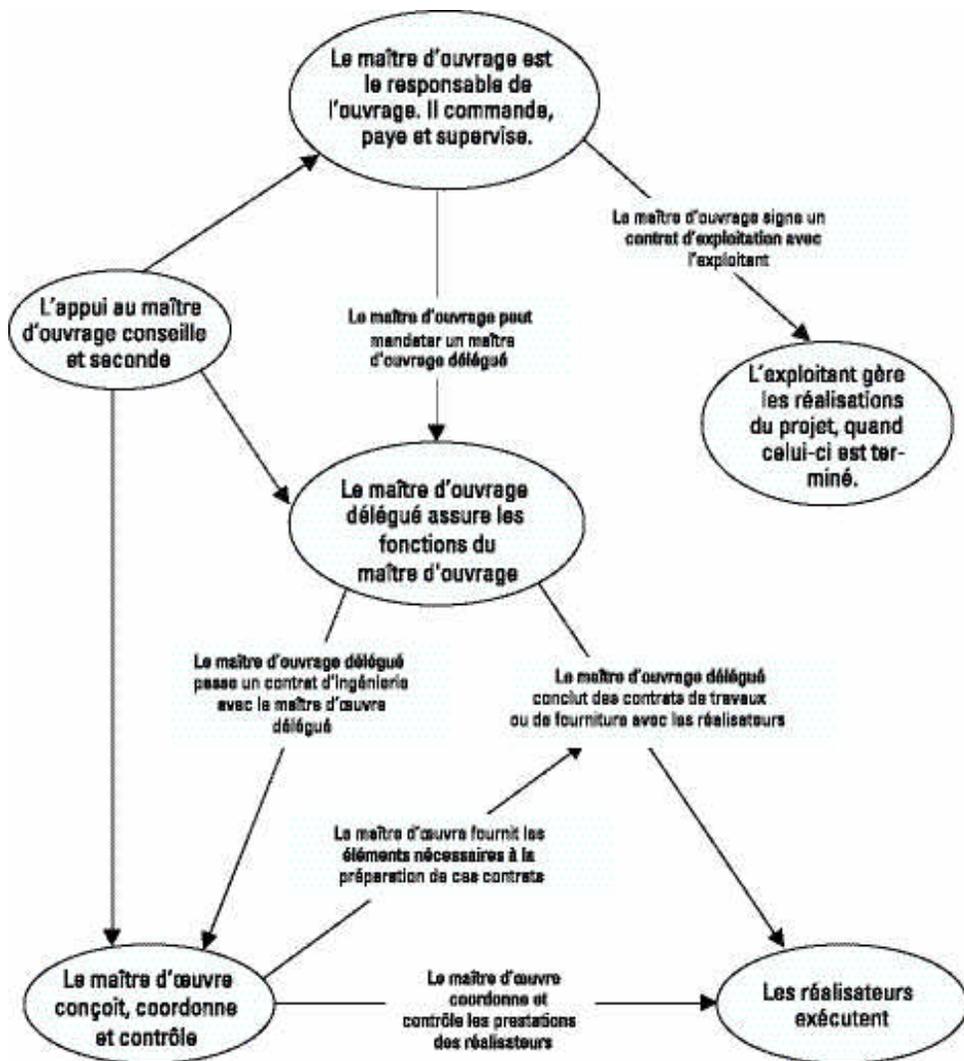
Le *maître d'ouvrage* est celui qui engage et qui finance le projet, la construction d'un bâtiment par exemple. Il en sera le propriétaire. Il en choisit les grandes caractéristiques en fonction de l'usage auquel il le destine, de ses choix et de son budget. Il confie la conception et le contrôle de la réalisation de son projet à un *maître d'œuvre*, ici un architecte. Ce dernier va tracer les plans du bâtiment, préparer les cahiers des charges et suivre l'exécution des travaux. Les *réalisateurs* vont être les entreprises de travaux et les fournisseurs qui vont concourir à la construction du bâtiment : le maçon, le peintre, le plombier, l'électricien, etc. En règle générale les *réalisateurs* contractent avec le maître d'ouvrage. Leurs prestations sont définies par un cahier des charges élaboré par le *maître d'œuvre*.

Plusieurs personnes morales peuvent s'associer pour assurer la maîtrise d'ouvrage d'un projet, par exemple plusieurs collectivités locales. On parle alors de *co-maîtrise d'ouvrage*.

En cas de projets complexes, le maître d'ouvrage peut recourir aux conseils d'un bureau d'étude pour le conseiller et le seconder dans ses choix, dans la gestion de ses relations contractuelles, dans la supervision de l'exécution du projet, etc. Ce bureau d'étude assure les fonctions *d'appui à maître d'ouvrage*.

Des maîtres d'ouvrages associés peuvent éprouver des difficultés pour assurer leurs fonctions et leurs responsabilités. C'est par exemple le cas lorsqu'ils sont trop nombreux, qu'ils ne possèdent pas l'organisation nécessaire ou qu'ils sont éloignés géographiquement de leur projet. Ils peuvent alors mandater un tiers pour assurer leur responsabilité à leur place. Ce dernier assure le rôle de *maître d'ouvrage délégué*.

Dans le cas d'infrastructures publiques ou collectives (un centre de santé, une école, un bâtiment agricole collectif, etc.), le maître d'ouvrage n'assurera pas forcément lui-même la gestion ou l'exploitation de l'infrastructure qu'il fait construire. Il peut la confier à une autre personne morale, souvent désignée sous le nom «d'exploitant».



► Figure 1. Les rôles du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre

Le projet de périmètre irrigué de Marébou

L'association pour le développement du village de Marébou (ADVM) décide de réaliser un périmètre irrigué. Elle réunit les financements nécessaires, règle la question foncière et définit les grandes caractéristiques de cet aménagement. L'ADVM est le maître d'ouvrage du projet.

Elle confie la responsabilité de conduire ce projet à sa bonne fin à un groupe de cinq paysans qu'elle charge de gérer l'argent. Ce groupe assure les fonctions d'un maître d'ouvrage délégué. Il s'adresse à une ONG d'appui pour faire les plans du périmètre et contrôler l'exécution des travaux. Cette ONG est le maître d'œuvre du projet.

Comme ce groupe n'a pas tout à fait confiance dans cette ONG, il demande régulièrement l'avis des services de la Direction départementale de l'agriculture, qui joue là un rôle d'appui à maître d'ouvrage.

Les ouvrages en ciment du réseau d'irrigation sont construits par un artisan maçon selon les plans fournis par l'ONG. Cet artisan est donc un des réalisateurs du projet. Il sera payé directement par le groupe des cinq paysans quand l'ONG leur certifiera que ces ouvrages sont conformes à ses plans.

Une fois le périmètre terminé, l'organisation du tour d'eau et l'entretien des ouvrages seront assurés par l'association des irriguants qui sera donc l'exploitant du périmètre.

● **Trois groupes de fonctions**

L'exemple précédent montre que les concepts de maître d'ouvrage et de maître d'œuvre, ne sont pas toujours bien adaptés à tous les types d'opérations. Mais la répartition de trois ensembles de fonctions distinctes, entre trois acteurs ou groupes d'acteurs, si possible différents, est un mode d'organisation de projet très répandu :

- > le premier assume les fonctions «politiques» d'orientation et de supervision, et la responsabilité globale du projet ;
- > le second assure les fonctions opérationnelles de conception et de coordination, y compris le montage et le suivi des actions et des réalisations ;
- > le troisième est chargé de l'exécution des actions et des réalisations.

Ces trois ensembles ne sont pas toujours répartis entre des personnes morales différentes. Ils peuvent l'être entre plusieurs services d'une même institution. Les tâches de conception puis de coordination des réalisations peuvent être successivement confiées à deux acteurs différents. Celui qui est chargé de la coordination et du suivi assure parfois lui-même une partie des tâches d'exécution, soit directement, soit en la confiant à d'autres. On ne parle plus alors de maître d'œuvre et de réalisateur mais d'opérateur et de sous-traitant.

● **Le «noyau dur», ses partenaires et son environnement**

Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre ou l'opérateur d'un projet en constituent le «noyau dur». Mais ils ne sont pas les seuls acteurs concernés. La réussite de leur opération commune dépend aussi d'autres protagonistes.

Elle dépend de leurs partenaires directs : ils vont en effet faire appel à des entreprises et à des prestataires de services, être soutenus par des organismes d'appui technique et financier, accompagner très directement des acteurs locaux... Les relations entre le «noyau dur» du projet et ses partenaires directs doivent, sauf exception, être régies par contrats.

La réussite d'un projet dépend aussi d'autres acteurs de son environnement, proche ou lointain. Entrent dans cette catégorie les autres acteurs locaux intéressés par son action, même s'ils ne l'accompagnent pas directement, les usagers des services qui vont être créés ou équipés, voire les concurrents de ces services. Les administrations publiques compétentes dans les domaines d'intervention du projet et les différentes autorités locales présentes sur sa zone d'action font également partie de cet environnement, ainsi que les acteurs économiques directement concernés par son activité. Le noyau dur doit au minimum connaître ces acteurs pour anticiper leurs réactions. Il doit toujours veiller à informer les plus concernés d'entre eux, souvent les consulter, parfois les associer à ses choix.

● **Les étapes d'un projet**

Un projet commence par une idée, qui mûrit et qui s'affine pour donner naissance à un plan. Avant de se concrétiser par des réalisations, ce plan doit souvent être négocié entre plusieurs partenaires. Il doit donc être modifié, puis précisé. Comme il ne prévoit jamais tout, sa mise en œuvre demande un travail de suivi et d'adaptation continu jusqu'à la fin du projet. Celle-ci n'est souvent qu'une étape vers une nouvelle activité ou un nouveau projet. Et il vaut mieux tirer les leçons d'un projet terminé avant de lancer le suivant.

La démarche projet se décompose donc en plusieurs phases.

● **L'avant projet**

Les idées à l'origine des projets naissent souvent en réaction à un changement graduel ou subit dans l'environnement de leurs promoteurs. Les agriculteurs ont l'idée d'aménager un bas-fond pour enrayer la dégradation de leur revenu, valoriser les débouchés offerts par une nouvelle route ou pour imiter ce qu'ils ont vu chez le voisin.

Le passage de la constatation du changement à l'idée de projet, puis de cette idée à la décision de passer à l'action peut demander une longue période de maturation.

Une structure d'appui ne fait pas forcément gagner du temps à de futurs promoteurs en les faisant aller à marche forcée vers un «projet clefs en main» qu'elle est capable de leur proposer pour faire face à une situation qu'elle a elle-même identifiée. Les promoteurs de projet ont intérêt à commencer par prendre le temps d'aller voir au-delà de chez leurs voisins immédiats, d'entendre plusieurs sons de cloche et de discuter avec des collègues avant de se lancer sur une idée. Les bailleurs ou les maîtres d'ouvrages importants prennent eux le temps de définir ou d'ajuster les politiques ou les orientations avant de les concrétiser par des programmes ou des projets. Ils ont eux aussi leur phase de maturation.

Une longue phase de réflexion et d'exploration permet souvent d'aller plus vite aux étapes ultérieures d'une opération. On dit parfois que l'art du projet consiste à perdre du temps au départ pour en gagner à l'arrivée.

● **L'élaboration**

Dès que les promoteurs ont clairement formulé leurs objectifs ou leurs idées, leur projet peut commencer à prendre forme.

Il démarre le plus souvent par une phase d'identification qui a pour objectif de repérer les principales options techniques ou méthodologiques possibles, les principales contraintes et des partenaires potentiels.

Ce premier repérage nécessite souvent une première alliance entre partenaires locaux et partenaires « techniques », qui doivent faire connaissance. Les premiers ont besoin de s'approprier des éléments de la culture technique des seconds. Ces derniers doivent prendre connaissance de l'environnement du futur projet.

Leur collaboration se noue au cours d'études préalables, destinées à valider l'opportunité et à vérifier la faisabilité de l'idée initiale. Si les résultats de ces études sont positifs, elles sont suivies par un travail de conception plus détaillé. Ce travail nécessite parfois de recourir à de nouvelles compétences. Il se conclut par la rédaction d'un premier document projet. Si le montage financier du projet n'est pas avancé à ce stade, ce premier document projet doit être rédigé en fonction des partenaires financiers qui vont être approchés.

Il existe autant de formes de documents que de types de projet et de montages possibles. Classiquement, pour les opérations importantes, ce document doit :

- > présenter la finalité du projet, ses principaux objectifs et les grands principes qui guideront sa conception puis sa mise en œuvre. On peut appeler cela *la logique d'intervention* ;
- > définir les méthodes et les solutions techniques qui vont être utilisées, préciser le déroulement du projet, ses objectifs et ses étapes intermédiaires, éventuellement son organisation en plusieurs volets, en plusieurs phases. La répartition entre réalisations directes et sous-traitance ainsi que les grandes options en termes de partenariat peuvent aussi faire partie de cette description de *la stratégie d'intervention* ;
- > prévoir enfin les moyens que le projet va mobiliser, les actions qu'il va conduire, et les résultats concrets auxquels il va aboutir, les calendriers à respecter. Le budget du projet doit également faire partie de *cette prévision opérationnelle*.

● Le montage

Ce premier document doit être validé par ses promoteurs. Il sert ensuite de support aux négociations qui vont aboutir à des définitions précises du rôle et des engagements réciproques des principaux partenaires de l'opération. Cette phase de montage s'accompagne souvent d'une modification du document initial. Elle se conclut par la signature d'accords contractuels entre les partenaires.

Le document projet entériné lors du montage n'est pas toujours suffisamment détaillé pour guider l'action. Le maître d'œuvre ou l'opérateur mandaté peut avoir besoin de le compléter, d'en préciser certaines annexes techniques ou de détailler sa programmation avant de passer à l'action.

● La mise en œuvre

La mise en œuvre du projet peut ensuite commencer. Mais il est rare qu'elle se déroule exactement comme prévu, quelle que soit la qualité de sa conception. Des écarts apparaissent presque toujours entre les prévisions et les réalisations. Ces écarts vont conduire à des réajustements qui seront d'autant plus faciles à gérer qu'ils seront décelés assez tôt.

Les écarts importants peuvent obliger l'équipe qui conduit le projet à modifier sa stratégie. Ils peuvent également amener à remettre en cause le montage et les accords contractuels. La conduite d'un projet nécessite donc un dispositif de pilotage :

- > *des outils de suivi-évaluation*, qui permettent d'identifier ces écarts ;
- > *des organes de coordination* pour piloter des adaptations mineures au sein de l'équipe projet ;
- > *des instances de pilotage*, indispensables pour renégocier des ajustements stratégiques ou contractuels avec les principaux acteurs associés.

● Le rebond : leçons et perspectives

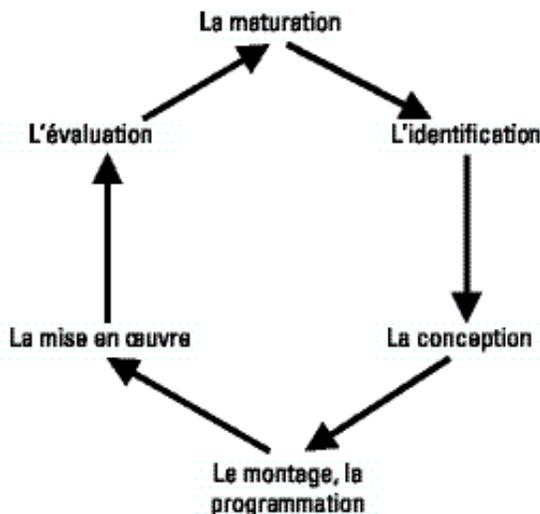
La réalisation d'un projet n'est souvent qu'une étape dans la progression d'une institution. Celles qui assument des fonctions de type maître d'ouvrage sont engagées dans des processus de progrès continu. Le métier des opérateurs de projets va les conduire à mettre en œuvre d'autres projets, celui des bailleurs à participer à d'autres montages financiers. Les uns et les autres ont donc intérêt à tirer les leçons de leurs interventions pour mieux maîtriser les suivantes.

Les projets s'inscrivent souvent dans des finalités qui les dépassent. Le développement agricole d'une petite région, l'amélioration de l'organisation d'une filière ou le développement global d'un territoire ne s'arrêtent pas à l'exécution d'un premier projet. Ils procèdent par une succession d'interventions. L'impact, les résultats et les leçons de la mise en œuvre d'un premier projet fournissent une partie de la matière nécessaire à l'élaboration des «logiques» et des «stratégies» des suivants.

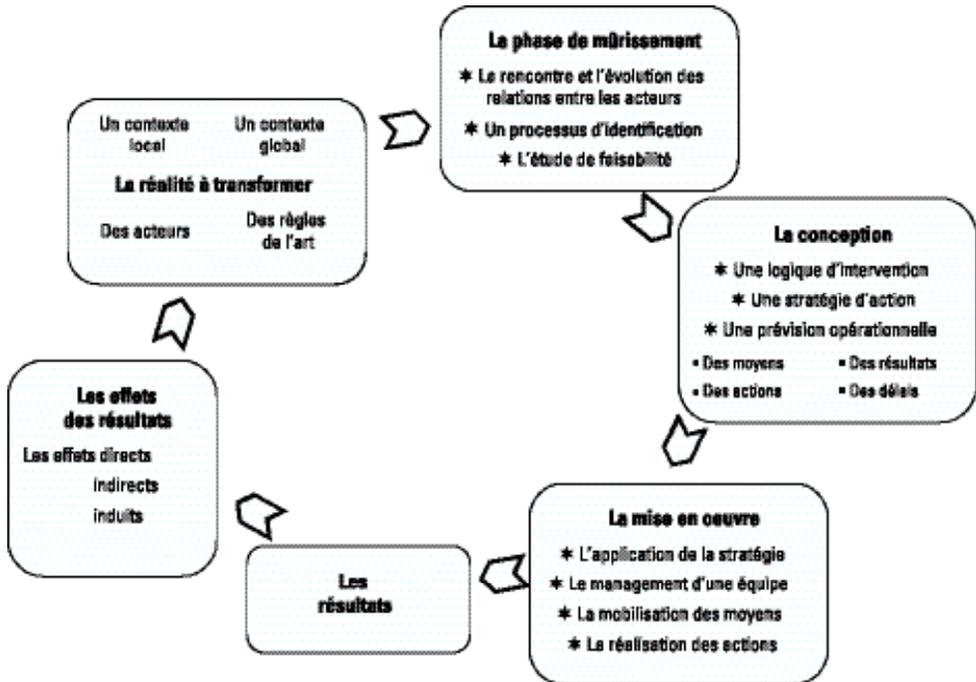
Un projet se conclut donc par une évaluation qui permet d'en tirer les leçons et d'identifier des pistes d'avenir.

● Le cycle des projets

Le *cycle des projets* est une expression souvent employée pour décrire leur enchaînement et leur cheminement.



► Figure 2 : Une représentation du cycle de projet



► Figure 3. Une autre représentation du cycle de projet

DES OUTILS POUR L'ACTION

● La conduite des projets

● La formulation

Chaque école a ses propres schémas et ses propres méthodes pour élaborer et présenter un document projet. La portée des modèles est donc limitée et il n'existe pas de méthode universelle pour tous les types et toutes les tailles de projets. Les uns demandent une programmation détaillée (les infrastructures importantes), les autres au contraire des démarches très itératives (l'accompagnement d'acteurs locaux).

Les bailleurs imposent presque toujours leurs propres plans types pour la présentation des projets soumis à leur financement. Les promoteurs d'un projet doivent donc se renseigner sur les procédures des partenaires financiers qu'ils prévoient de solliciter avant d'écrire leur document projet.

Un document projet vise en général trois objectifs :

- > il doit convaincre des partenaires potentiels du bien fondé de l'opération ;
- > il doit prévoir sa mise en œuvre avec suffisamment de précision pour en assurer la bonne fin ;
- > il sert aussi, souvent, de base contractuelle entre les partenaires qui vont s'engager sur les qualités, les coûts et les délais d'exécution des réalisations.

Lors de la phase de montage, il peut être utile de préparer plusieurs versions du document projet initial, pour l'adapter aux différents lecteurs : les décideurs pressés n'ont pas le temps de lire la version destinée à leurs services. Celle-ci ne convient pas forcément pour des partenaires locaux ou les agents du projet. Le pilotage de la mise en œuvre peut nécessiter des annexes à usage interne plus détaillées que la prévision opérationnelle présentée aux partenaires financiers.

Pour convaincre des partenaires potentiels, il peut donc être nécessaire dans ce document :

- > de décrire le contexte et l'historique du projet pour démontrer la pertinence de ses objectifs et la cohérence de sa stratégie ;
- > de présenter les principaux acteurs qui portent le projet ;
- > de présenter très clairement sa logique d'intervention : la finalité et les principaux objectifs, puis les principes d'intervention et les principaux résultats prévus. Le projet est convaincant si ses principaux objectifs sont pertinents au regard du contexte et si les différents éléments de sa logique d'intervention sont cohérents entre eux ;
- > d'explicitier et de justifier sa stratégie, non seulement en fonction du contexte mais aussi des « règles de l'art » ou de l'expérience acquise dans le domaine d'intervention ;
- > de détailler sa prévision opérationnelle : en plus des activités, des résultats, des moyens et du calendrier, il peut être nécessaire de décrire l'organisation de l'équipe projet (si elle est importante) ou les procédures de contractualisation (s'il s'agit d'un projet positionné dans une fonction de maître d'œuvre ou d'appui à maître d'ouvrage). Les projets conçus selon des stratégies d'appui aux acteurs locaux, ou de recherche-action ne peuvent pas obéir à des programmations précises. Mais leurs démarches, leurs méthodes et les résultats qu'ils visent peuvent être décrits avec précision ;
- > de détailler le budget du projet ;
- > de présenter le système de suivi-évaluation et d'évaluation qui va être mis en place.

● « L'arbre à objectifs »

« L'arbre à objectifs » est une manière de présenter les objectifs d'un projet d'une façon synthétique, en les classant de manière logique.

Pour le construire, on commence par décrire en quelques mots son objectif principal. Deux ou trois phrases suffisent pour l'expliquer.

On décline ensuite cet objectif principal en une série de deux, trois ou quatre objectifs intermédiaires. Ce sont les principales étapes, les points de passage obligés pour atteindre l'objectif principal.

Ils répondent à la question «que faut-il faire pour atteindre l'objectif principal ?» Leur description doit également tenir en quelques mots.

Ces objectifs intermédiaires sont à leur tour détaillés en plusieurs sous-objectifs, avec la même méthode. On peut ainsi définir successivement des objectifs de niveau 2, 3 ou 4. Certains, à quelques nuances près, dénomment *objectif global* le niveau 1, *objectif spécifique* le niveau 2, et *résultat* le niveau 3.

Un projet qui vise à créer une coopérative de production agricole, après avoir installé des agriculteurs sur des terres récemment mises en valeur peut être résumé par «l'arbre à objectifs» présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. L'arbre à objectifs du projet d'appui à la création d'une coopérative agricole de production sur les terroirs dits de la Rivière des Baies (première phase)

Objectifs de niveau 1	Objectifs de niveau 2	Objectifs de niveau 3
Accompagner l'installation des attributaires, et la création puis le développement de leur coopérative	<i>Aménager le lotissement et répartir les lots</i>	Finaliser le plan d'aménagement du site Réaliser les infrastructures Attribuer officiellement les lots
	<i>Aider les agriculteurs à s'installer</i>	Aider chaque famille à programmer et à préparer son installation Faciliter l'accès de ces familles au crédit Aider à l'organisation de la mise en valeur et de la première campagne agricole
	<i>Permettre à la coopérative de devenir fonctionnelle</i>	Réaliser les premières infrastructures indispensables Mettre en place progressivement l'organisation fonctionnelle de la coopérative Définir progressivement le rôle opérationnel de la coopérative
	<i>Accompagner le développement économique des exploitations et de la coopérative</i>	Actualiser et rendre accessibles les références locales et les conclusions de l'étude de milieu Aider les producteurs à choisir les axes de développement de leur exploitation et de leur coopérative Finaliser les procédures d'accès au crédit de campagne avec la banque Aider le conseil d'administration à définir ses orientations et à élaborer un plan d'action

Tableau 2. Des objectifs aux activités prévues sur le projet de la Rivière des Baies

Objectif de niveau 2	Objectif de niveau 3	Objectif de niveau 4	Activités prévues
<i>Aménager le lotissement et répartir les lots</i>	Finaliser le plan d'aménagement du site	Vérifier le plan de masse et la régularisation de la situation foncière	Vérifier sur le cadastre et sur le terrain la délimitation du terrain attribué à la coopérative par le jugement du 3 avril 1971
		Préciser le zonage du terrain, définir un parcellaire, prévoir le tracé des pistes d'accès	Revisiter le terrain avec les représentants des futurs coopérateurs, élaborer un cahier des charges avec eux Organiser puis lancer un appel d'offres pour choisir et contracter avec un géomètre
		Réaliser les infrastructures	
	Attribuer officiellement les lots		

Après avoir détaillé les objectifs de niveau 3 ou 4 d'un projet, on peut en général prévoir et décrire sommairement les activités ou les ensembles d'actions qui vont permettre de les atteindre. Ces activités peuvent servir d'unité pour prévoir l'organisation du travail, le calendrier et la gestion des moyens du projet, puis pour suivre son exécution.

Tableau 3. Eléments de la programmation du projet de la *Rivière aux Baies*

Activités prévues	Le responsable de l'activité	Quand ?	Moyens spécifiques nécessaires	Comment ? (autres remarques)
Vérifier sur le cadastre et sur le terrain la délimitation du terrain attribué à la coopérative par le jugement du 3 avril 1971	Le responsable du projet	Dans la semaine du 28/2 au 3/3 impérativement avant la mi-mars	R.A.S	R.A.S
Revisiter le terrain avec les représentants des futurs coopérateurs, élaborer un cahier des charges avec eux	L'animateur	À partir de la mi-mars. Les éléments du cahier des charges doivent être disponibles mi-avril	R.A.S (logistique projet)	Prévoir une visite et plusieurs réunions du bureau puis une restitution au conseil
Organiser puis lancer un appel d'offres pour choisir et contracter avec un géomètre	Le responsable du projet	L'appel d'offres doit être lancé à la mi-avril, fin mai au plus tard	Les honoraires des géomètres	Rédiger les cahiers des charges, mais confier la gestion de l'appel d'offres au ministère des Travaux publics.

● Cinq questions essentielles

La programmation puis la conduite d'un projet consistent d'abord à collecter les informations nécessaires pour répondre aux cinq questions suivantes : Qu'est ce qu'on va faire ? Qui va le faire ? Comment ? Quand ? Et avec quels moyens ?

Les méthodologues et les informaticiens ont inventé de nombreux outils pour faciliter le traitement de l'information et la prise de décision. Ceux-ci sont utiles pour la mise en œuvre de projets de grande dimension. Mais la plupart des projets à la portée d'une petite équipe de terrain demandent avant tout un peu de méthode et de bon sens.

● *Quoi et qui ?*

On traite la complexité d'un projet comme celle de n'importe quel objet compliqué : on le découpe en une série d'objets plus simples, qu'on décompose eux-mêmes, etc. On organise ainsi un projet en différentes composantes, volets et phases, puis en une série d'opérations. « L'arbre à objectifs » est un des outils qui peut faciliter ce découpage.

L'identification des opérations permet d'évaluer les compétences nécessaires à la réalisation du projet. Les unes vont être réunies au sein de l'équipe projet. Les autres seront mobilisées en faisant appel à des prestataires. Cela dépend de leur prégnance mais aussi du contexte et des perspectives stratégiques du projet.

Dans tous les cas, les missions des personnes directement associées à la réalisation d'un projet, membres de l'équipe ou prestataires de service, doivent être définies avec précision à ses différentes étapes.

La répartition de ces tâches entre les membres d'un petit groupe qui s'entendent bien ne pose pas de problème particulier. L'organisation du travail au sein d'une structure de plus d'une dizaine de personnes nécessite un *organigramme* clair auquel chacun doit pouvoir se référer. Cet organigramme précise les fonctions, les ensembles de tâches, confiés à chaque membre de l'équipe. Il propose une organisation qui les répartit en petites unités. Il définit les relations, les responsabilités et les systèmes de prise de décision au sein et entre ces unités.

Il existe en théorie deux grands types d'organisation. La première privilégie des unités fonctionnelles : comptabilité gestion, suivi-évaluation, logistique, achat et distribution des intrants, expérimentation et vulgarisation... La seconde préfère des petites équipes opérationnelles : développement de l'élevage, réalisation des infrastructures hydrauliques, appui à la filière oignon... Dans la réalité, les organigrammes combinent ces deux formes de répartition des tâches et des responsabilités. De la même façon, les projets et institutions de développement agricole et rural sont toujours confrontés au dilemme «organisation géographique ou organisation thématique». La plupart des organigrammes associent ces deux logiques.

● *Quand et comment ?*

Un découpage plus détaillé en «activités» et un simple calendrier qui prévoit leur enchaînement dans le temps suffisent à la programmation des activités.

Tableau 4. Le planning du volet « expérimentation paysanne » sur le site de Hot Don

Les activités	Les semaines														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Première réunion d'information dans les villages	■	■													
Visite de terrain, repérage des paysans volontaires			■	■	■	■	■								
Commande des intrants pour les essais							■	■							
Réunions avec les paysans expérimentateurs									■	■	■				
Tournées-validation du choix des parcelles											■	■	■		
Mise en place des essais													■	■	■

Date limite pour la mise en place des essais 

● Combien ?

Le budget, le suivi comptable de son exécution et le plan de trésorerie sont les principaux outils de gestion financière des projets.

Le mode de présentation du budget d'un projet, du détail de ses dépenses et de ses recettes prévisionnelles dépend la plupart du temps des exigences des partenaires financiers. Ceux-ci imposent leurs standards de présentation comptable. Ils distinguent en général les dépenses par nature (les équipements, les frais de personnel, les frais de fonctionnement, les investissements, les prestations de services, etc.).

La gestion d'un projet peut demander un découpage budgétaire un peu différent de celui exigé par le bailleur. Des lignes budgétaires plus détaillées peuvent être nécessaires pour programmer et suivre l'exécution d'opérations particulièrement sensibles. Un découpage par «volet» peut faciliter une organisation de l'équipe projet en petites équipes responsabilisées sur la gestion de leur budget. Les logiciels de comptabilité ou les tableurs permettent de concilier des enregistrements détaillés des dépenses et différentes formes de synthèse, les unes destinées aux bailleurs, les autres aux responsables du projet.

Le mot «budget» est parfois utilisé pour désigner seulement la prévision de l'ensemble des dépenses d'un projet, et l'expression «plan de financement» pour décrire son montage financier. C'est le cas notamment lorsque son financement met en jeu plusieurs partenaires ou plusieurs catégories de ressources. Le plan de financement affecte alors un type de ressources à un type de dépenses prévu dans le «budget».

Le plan de trésorerie permet de visualiser la prévision mois par mois des entrées et des sorties et du solde de trésorerie. Un modèle est présenté dans le tableau 5.

Tableau 5. Plan de trésorerie du 1^{er} janvier au 31 juillet

Les lignes du budget	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	
Sorties								
a) équipement								
b) frais de personnel								
c) fonctionnement								
d) services spécifiques								
e) autres								
(A.) Total des sorties	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
Entrées								
f) subvention bailleur								
g) participation collectivité locale								
h) participation organisations paysannes								
i) ventes de services								
(B.) Total des entrées	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
(C.) Solde mensuel = B-A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
(D.) Solde cumulé	D0	D1=D0+C1	D2=D1+C2	D3=D2+C3	D4=D3+C4	D5=D4+C5	D6= D5+C6	D7=D6+C7

D0 = le solde de trésorerie au 31 décembre de l'année précédente.

● Le pilotage

Le pilotage d'un projet procède par une succession d'exercices de bilan et de programmation. Ces exercices doivent se répéter à intervalle régulier, mais à des rythmes et à des niveaux différents selon leur objectif :

- > La prévision des activités et la répartition des tâches s'organisent sur des rythmes courts (la semaine, la quinzaine ou le mois). Les petites équipes chargées d'assurer une fonction ou de mener à bien un volet ont en général l'autonomie nécessaire pour cet exercice.
- > La définition d'objectifs en termes de réalisations ou de résultats immédiats, le suivi budgétaire et le suivi de trésorerie s'opèrent sur ce même mode, à des rythmes qui dépendent de la nature et des difficultés du projet (tous les mois ou tous les trimestres). Les décisions à prendre à ce niveau demandent de recueillir des avis et des informations émanant des différentes équipes de la structure projet. Ces informations sont souvent réunies sur un document synthétique, le *tableau de bord* qui présente les principaux éléments de la prévision et du bilan des activités de la période écoulée.
- > Le bilan en terme de résultats et d'impacts, et les éventuelles réorientations ou les ajustements apportés aux objectifs spécifiques et aux découpages budgétaires initiaux du projet se font, sauf incident, sur des rythmes annuels ou bisannuels. Ils ne peuvent pas être effectués sans les maîtres d'ouvrage et souvent le bailleur du projet, surtout s'ils se traduisent par des modifications des documents contractuels élaborés lors du montage du projet.

● Les projets et les partenariats

Les projets mis en œuvre par un seul opérateur et par l'intermédiaire d'une structure projet importante, chargée elle-même de la plus grande partie des réalisations, sont de plus en plus rares dans le domaine du développement rural. Ils sont remplacés par deux autres formes d'intervention. Les unes visent à appuyer les projets des acteurs locaux ; les autres sont montées en multipartenariat entre plusieurs maîtres d'ouvrage et plusieurs opérateurs pour intervenir de façon cohérente sur un territoire assez vaste ou sur une filière. Elles mettent le partenariat au cœur de la démarche projet selon deux problématiques bien différentes.

● «Porteurs» et «accompagnateurs» de projet

Les interventions fondées sur l'accompagnement des projets d'acteurs locaux peuvent prendre de multiples formes, selon leur objectif, les qualités des porteurs de projets accompagnés et la nature de leur projet. Il est important de pouvoir se repérer dans cette diversité.

● L'autonomie des «porteurs de projets»

Les acteurs émergents, c'est-à-dire jusque là isolés et peu actifs, vont demander un accompagnement rapproché, pour les aider à réussir une de leurs toutes premières actions.

Les acteurs déjà en mouvement peuvent valoriser des appuis plus distants, qui leur permettent de hiérarchiser leurs priorités, de conduire des projets de complexité croissante et d'améliorer leurs compétences.

Les acteurs quasi autonomes sont capables d'identifier les prestations dont ils ont besoin, mais ils n'ont pas toujours les moyens d'y accéder.

● **Les objectifs du projet d'accompagnement**

L'accompagnement d'acteurs au service des objectifs spécifiques d'un projet

Les projets qui visent la création ou la privatisation de services (crédit, santé, eau, électricité, approvisionnement en intrants agricoles...), comme ceux qui prévoient la création ou la réhabilitation d'infrastructures hydrauliques ou d'équipements collectifs, envisagent souvent de pérenniser leurs résultats par l'intermédiaire d'organisations locales. Ils s'efforcent de susciter l'émergence d'organisations nouvelles ou d'accompagner l'évolution d'organisations préexistantes pour qu'elles puissent assurer durablement le fonctionnement de ces services ou de ces infrastructures. Tout en pouvant être très «participatif», leur accompagnement est conçu à partir des objectifs du projet.

L'accompagnement des projets des acteurs locaux

Les projets qui visent des objectifs très globaux de développement agricole ou territorial, ou au moins certains de leurs volets, sont désormais conçus sur le mode de l'appui aux initiatives des acteurs locaux. Ils s'adressent à des producteurs agricoles, des organisations de producteurs, des organisations territoriales ou des collectivités locales. Ces projets, à l'inverse des précédents, se proposent d'accompagner une grande diversité d'initiatives et de promoteurs. Ils ont le choix entre deux types de stratégies d'accompagnement : les stratégies «sur mesure» appuient les acteurs locaux dans l'identification, la conception et la mise en œuvre d'un projet spécifique ; les stratégies «prêt-à-porter» identifient à partir d'un diagnostic régional une gamme de microprojets possibles pour un certain nombre de types d'acteurs. Ils mettent ensuite au point des schémas d'accompagnement par type de microprojet et d'acteur.

L'accompagnement des projets des acteurs «régionaux»

Certaines stratégies de développement territorial ou d'appui au développement de filières agricoles sont fondées sur la montée en puissance de quelques organisations peu nombreuses. Elles attribuent un rôle majeur à ces organisations qui sont appelées, par exemple, à assurer la maîtrise d'ouvrage de projets de dimension régionale, ou à devenir l'opérateur principal des actions techniques ou commerciales sur toute une filière. Ces organisations sont en général rapidement capables de négocier elles-mêmes les appuis dont elles ont besoin pour atteindre leurs objectifs.

● **La stratégie de l'accompagnateur**

Les stratégies des projets d'accompagnement sont souvent une combinaison de deux approches opposées :

> *la stratégie «de l'opérateur»* : les différentes actions d'accompagnement (information, appui, conseil, formation) sont réalisées pour l'essentiel par une équipe projet importante qui dispose du budget et de la plupart des compétences nécessaires.

> *la stratégie «du maître d'œuvre»* : ces actions sont réalisées pour l'essentiel par des prestataires de services locaux. Une petite équipe facilite le rapprochement entre l'offre de ces prestataires et la demande des acteurs locaux. Elle gère elle-même ou elle facilite l'accès de ces acteurs à un outil financier dédié au cofinancement de ces accompagnements.

● Quelques principes de l'accompagnement

● *Un double objectif, deux gammes d'outils*

Ces processus d'accompagnement visent deux objectifs complémentaires : la progression des capacités des acteurs et la bonne fin de leurs projets. Ces deux objectifs doivent être cohérents. Les qualités initiales des acteurs déterminent le niveau de difficulté de leurs projets. Un écart trop important entre les capacités d'un promoteur et les exigences de son projet conduit soit à l'échec du processus d'apprentissage soit à celui du projet... ou aux deux à la fois.

Ces processus nécessitent la mise en œuvre de deux gammes d'outils, celle de la démarche projet, évoquée ci-dessus, et celle de la «pédagogie par l'action». Les principaux outils de cette dernière sont la formation, le conseil, l'appui et la médiation.

● *Une démarche itérative*

L'accompagnement est décalqué sur les étapes du projet. Il doit permettre aux promoteurs d'acquérir et mettre en œuvre les connaissances et les savoir-faire nécessaires à la réalisation de leurs projets au fur et à mesure de son déroulement. Il est souvent inutile de proposer des bonnes réponses aux promoteurs avant que la progression de leur projet ne leur permette de se poser les bonnes questions.

Le rythme d'avancement du processus d'apprentissage et la progression du projet lui-même sont difficilement programmables. Le contenu des processus d'accompagnement peut rarement être prévu en détail très longtemps à l'avance. Il se définit en général d'étape en étape.

Ce caractère itératif est d'autant plus indispensable que les «accompagnés» doivent progressivement maîtriser eux-mêmes la programmation des services qui leur sont proposés, et qu'ils ne peuvent le faire qu'au fur et à mesure qu'ils progressent.

Enfin, un processus d'accompagnement ne doit pas et ne peut pas faire l'économie de *la méthode des erreurs corrigées* : il est souvent plus efficace de permettre aux promoteurs de tirer les leçons de leurs erreurs plutôt que de leur éviter de les commettre... en conduisant leur projet à leur place. Les délais qu'implique cette méthode sont eux aussi difficilement prévisibles.

● *Un travail sur la demande*

L'accompagnement d'un projet ne devrait commencer qu'à la demande de son promoteur. Ce premier principe *«qui accompagne, ne marche pas loin devant»* est souvent battu en brèche. Les projets d'accompagnement ou d'appui aux initiatives locales ont parfois leurs propres contraintes quantitatives. Ils apparaissent alors bien volontaristes face à des promoteurs bien attentistes. Même dans cette situation, quand il prend les devants, l'accompagnateur doit suivre le rythme des initiatives des porteurs de projet

qu'il aura pu susciter. Ces initiatives sont les seuls bons indicateurs de la qualité d'entrepreneur de ses partenaires, de l'appropriation de leur projet et de la progression de leurs capacités.

«L'appui doit suivre la logique de la demande des promoteurs et non celle de l'offre des prestataires de service». Ce deuxième principe ne signifie pas pour autant qu'il faille prendre toutes les premières demandes pour argent comptant. En effet, personne ne peut demander ce qu'il ne connaît pas et personne ne demande ce qu'il n'espère pas pouvoir obtenir. Quand un promoteur s'adresse à un organisme d'appui, sa première demande ou sa première idée est le point de départ d'un cheminement commun. Elle n'en donne pas forcément la direction définitive, mais elle enclenche une de ses premières étapes, celle qui consiste justement à donner à voir et à comprendre avant d'aider à passer à l'action.

● **Une relation exigeante et parfois inégale**

La relation entre un promoteur de projet et l'équipe chargée de l'accompagner est une relation exigeante. Elle ne peut se nouer que si les protagonistes prennent le temps de faire connaissance avant de commencer leur travail commun, et s'ils restent ensuite curieux l'un de l'autre. Cette évidence est moins systématiquement respectée qu'on ne le croit.

Cette relation se construit sur la confiance et le respect réciproque. Les «accompagnateurs» doivent être crédibles. Cette crédibilité se fonde sur leurs compétences, leurs premiers résultats et sur leur capacité à tenir leurs engagements. Ils ne doivent s'engager que sur ce qu'ils sont sûrs de pouvoir tenir, ce qui implique qu'ils connaissent leurs propres contraintes et celles de leurs bailleurs. Là encore, ce qui semble une évidence souffre dans la réalité de nombreuses exceptions. Leurs contraintes et leurs procédures doivent être expliquées à leur partenaire et comprises par lui.

La crédibilité des projets d'appui dépend aussi de leur capacité de dire «non» quand il le faut. Ce n'est pas toujours facile quand on a peu de partenaires et qu'on doit respecter des objectifs quantitatifs mal calibrés. Enfin, chaque fois qu'un accompagnement se développe dans la durée, il doit à partir d'un certain stade être fondé sur un contrat.

● **Le montage des projets en multipartenariat**

Les programmes conduits en partenariats multiples permettent d'améliorer la cohérence d'interventions menées par des acteurs de plus en plus nombreux et indépendants. Ils se substituent progressivement aux opérations pilotées uniquement par l'Etat et mises en œuvre par ses seuls services.

Ce mode de management concerne des opérations de grande ampleur (réformes agraires, projets hydro-agricoles, privatisations), qui associent souvent plusieurs bailleurs et de multiples opérateurs. Il est aussi de plus en plus utilisé dans le cadre de programmes de développement régional ou de développement de nouvelles filières agricoles.

L'objectif de ces projets en partenariats peut se limiter à une simple mise en synergie des acteurs, ne viser que des collaborations ponctuelles ou la gestion d'outils communs, ou tenter de coordonner fortement les actions de plusieurs maîtres d'ouvrage ou de plusieurs opérateurs.

Quelle que soit leur forme, ils sont souvent organisés en trois niveaux.

● **Les orientations et les décisions politiques**

Elles sont en général l'apanage d'un petit comité souvent appelé «comité de pilotage». Un tel comité est fonctionnel quand il réunit des personnes peu nombreuses et dotées effectivement d'un pouvoir de décision : les représentants de «haut niveau» des bailleurs et des maîtres d'ouvrage associés. Il se réunit en général peu souvent (une à deux fois par an) pour trancher sur des sujets déjà étudiés et qui ont fait l'objet de concertations préalables entre les acteurs du programme. Ce rythme n'est pas celui de l'action et le comité se limite aux décisions stratégiques sans déborder sur les questions opérationnelles. L'expérience montre que ces comités sont plus efficaces quand un de leurs membres assure un réel leadership et quand leur travail se fonde sur des accords «politiques» suffisamment élaborés avant le lancement de l'action.

● **La coordination opérationnelle**

Elle est en général confiée à une petite équipe-projet qui assure *stricto sensu* un rôle de maître d'œuvre tel que défini ci-dessus. Elle n'assure pas en général de fonction de «réalisateur». Pour assumer ce rôle, cette équipe doit disposer d'un outil de suivi-évaluation adapté, qui doit couvrir l'ensemble des opérations à coordonner. Elle peut gérer elle-même ou sous traiter la mise en œuvre de cet outil qui doit toujours s'appuyer sur les outils mis en place par les différents opérateurs du programme. Cette équipe est chargée de préparer les réunions du comité de pilotage et d'animer ou de faire animer les instances de concertation. Selon la nature du programme, elle peut ou non avoir un rôle financier.

● **La concertation**

Elle implique tous les acteurs concernés par un programme mené en multipartenariat et doit être organisée à travers des instances permanentes. Deux niveaux de concertation sont souvent nécessaires :

- > le premier réunit les opérateurs ou les réalisateurs associés. Il fonctionne un peu sur le modèle des réunions de chantier qui permettent de faire le point de l'avancement des travaux et de coordonner les différents corps de métier sur un projet d'infrastructure ;
- > le second doit permettre à l'ensemble des acteurs susceptibles d'être concernés par le programme de s'informer et de s'exprimer sur son déroulement. Il doit donner les moyens à ceux qui le souhaitent de fonctionner à son égard comme une force de proposition ou de critique. L'organisation de ce second niveau est évidemment très variable d'un programme à l'autre. Les grands forums organisés à intervalle régulier ne permettent pas toujours l'expression de tous les acteurs invités à y participer. La concertation est un exercice exigeant qui ne porte ses fruits que si elle est mise en œuvre dès la conception des programmes.

Le programme de développement régional de Rivabella

Rivabella est la plus petite des îles d'un Etat archipel de l'océan Pacifique. Elle ne compte que trente mille habitants, mais sa croissance démographique remet en cause son équilibre économique et écologique. Son isolement géographique et l'étroitesse de son marché constituent des contraintes difficiles à contourner. Les projets de développement nationaux, plus ou moins coordonnés depuis la capitale, ne constituent pas un ensemble cohérent lorsqu'ils s'appliquent au niveau de la petite île.

Le gouvernement et les bailleurs ont décidé de se coordonner pour conduire un programme de développement régional plus cohérent. Ils se sont fixé deux objectifs :

- accroître les synergies entre les différents projets et les différents acteurs ;
- réunir les outils financiers d'appui aux initiatives locales des différents bailleurs au sein d'un dispositif régional commun.

Cette coordination est prévue sur une période de quatre ans. Une réforme de décentralisation est en préparation. Elle devrait aboutir dans ce délai à l'émergence d'une collectivité territoriale qui modifiera cette organisation.

Un comité de pilotage de sept personnes a été mis en place. Il est constitué des représentants des quatre principaux bailleurs (la Banque centrale, l'Union européenne, la Coopération française et le FIDA) du ministère du Plan, et du gouverneur. Le représentant de la Fédération des acteurs du développement économique et social de l'île de Rivabella, (FADESIR) siège également à ce comité qui peut inviter d'autres personnes en fonction de son ordre du jour.

Une petite équipe projet assure trois fonctions :

- elle met en œuvre un dispositif de suivi-évaluation unique pour toutes les interventions de développement financées par les quatre bailleurs ou mises en œuvre sous la tutelle des pouvoirs publics. L'animation de réunions de restitution auxquelles participent les responsables des principaux projets, les services du gouvernement et deux représentants de la FADESIR fait partie de ce dispositif ;
- en utilisant les résultats de cet outil, elle assure le secrétariat du comité de pilotage et l'animation d'un « Conseil économique et social » de l'île ;
- elle assure la maîtrise d'œuvre du dispositif régional commun d'appui aux initiatives locales et notamment le fonctionnement d'un « Comité régional d'attribution ».

Le « Conseil économique et social » réunit une quarantaine de personnes nommées par l'Etat en concertation avec la FADESIR, des représentants d'associations villageoises et régionales, des syndicats, des organisations de producteurs et d'entrepreneurs, des responsables de projets et des chefs de services de l'administration, des ONG nationales et étrangères actives sur l'île. Ce conseil est une instance d'information, de dialogue, de réflexion et de proposition. Il doit définir les grandes priorités du développement de l'île qui doivent contribuer à éclairer les décisions du comité de pilotage. Il dispose d'un budget qui lui permet de commanditer des études et de gérer un petit centre de ressources, où la « littérature grise » accumulée par les projets est disponible.

● **Le suivi et l'évaluation**

Les outils de suivi et d'évaluation servent à éclairer les choix et les décisions des responsables associés à la conduite d'un projet.

● **Les évaluations**

● **Leur diversité**

Le vocabulaire de l'évaluation n'est pas unifié, mais la plupart des auteurs distinguent le suivi (ou le suivi-évaluation) de l'évaluation. Le premier est un processus continu de collecte et de traitement de données qui sert au pilotage régulier d'un projet. La seconde est une intervention plus exceptionnelle destinée à définir ou à corriger les

orientations ou la stratégie d'une intervention ou d'une organisation. Ces deux types d'outils sont complémentaires et il existe une gamme continue qui va de l'un à l'autre. L'évaluation *événement* d'un projet ou d'un programme a souvent besoin de s'appuyer sur des informations récoltées tout au long du déroulement de celui-ci. La conduite d'une opération de développement implique différents outils de régulation qui fonctionnent sur le mode du bilan/ajustement, à des rythmes différents.

Les évaluations «événement» peuvent intervenir à la fin d'une phase importante d'une action, au terme d'un projet, lors de l'échéance d'un plan pluriannuel de développement institutionnel. Elles peuvent aussi être déclenchées à la suite de dysfonctionnements graves.

Certains auteurs utilisent l'expression *d'évaluation ex-ante* pour désigner les études préalables au lancement d'un projet. *L'évaluation à mi-parcours* est destinée à valider ou à adapter les orientations et la stratégie d'un projet en cours d'exécution. *L'évaluation finale* est réalisée dans les derniers mois d'un projet pour en faire le bilan et en prévoir les suites. *Une évaluation ex-post* est engagée plusieurs mois, voire années, après la fin du projet pour en mesurer l'impact.

Les évaluations diffèrent également par leur objet. On peut évaluer bien sûr un projet, mais aussi un ensemble de projets conçus dans le cadre d'un programme, ou réunis au sein d'un ensemble défini *a posteriori* par sa géographie, sa période ou son thème. L'évaluation peut porter sur un dispositif, sur une institution ou sur l'ensemble de ses activités. Les méthodes et les outils utilisés diffèrent selon les objets.

● **Les acteurs et les principales démarches**

Les évaluations mettent généralement en jeu quatre groupes d'acteurs :

- > *le commanditaire* qui décide l'évaluation et qui attend ses conclusions pour prendre des décisions ;
- > *les évaluateurs* qui mettent en œuvre l'évaluation. Ils récoltent, traitent et interprètent les données ;
- > *les personnes directement impliquées* dans l'objet évalué, projet ou institution. Ils se considèrent eux-mêmes comme les «évalués» ;
- > *les acteurs locaux* directement intéressés par les résultats du projet.

On distingue différents types d'évaluations selon la position des différents groupes d'acteurs. On parle ainsi :

- > *d'évaluation interne* quand l'évaluateur est très proche du commanditaire et d'évaluation externe quand il s'agit d'une personne indépendante ;
- > *d'évaluation endogène* quand l'équipe évaluée commande elle-même l'évaluation. L'expression d'évaluation exogène est moins utilisée. Les « évaluations » sans autre adjectif désignent des exercices commandités par des centres de décisions éloignés du terrain et des « évalués » : ce sont encore les plus fréquentes ;
- > *d'autoévaluation* quand une institution s'évalue ou évalue ses actions sans recourir à un intervenant extérieur, et *d'auto évaluation assistée* quand celui-ci intervient non pas comme évaluateur, mais comme animateur, formateur ou se borne à proposer une méthode ;
- > *d'évaluation participative* quand les «évalués» et les acteurs locaux directement intéressés par les résultats du projet sont associés à toutes les étapes de l'évaluation.

Une évaluation « exogène » peut ressembler à un contrôle, qui va comparer les résultats d'un projet à des normes précises définies à l'avance. Les acteurs du projet sont alors tout au plus des sources possibles d'information. Une évaluation endogène peut être un exercice d'animation permettant à un ensemble d'acteurs de construire leur propre jugement sur le projet auquel ils ont participé. Toutes les combinaisons et les intermédiaires sont possibles entre ces deux extrêmes, parfois opposés au nom de philosophies différentes de l'action. Il s'agit en fait d'outils destinés à évaluer des objets de natures différentes pour des systèmes de prise de décision différents. Les modalités de l'évaluation doivent être cohérentes avec le mode de gestion.

● **Les différentes étapes d'une évaluation externe**

Elle suit le plus souvent un cheminement en trois grandes étapes.

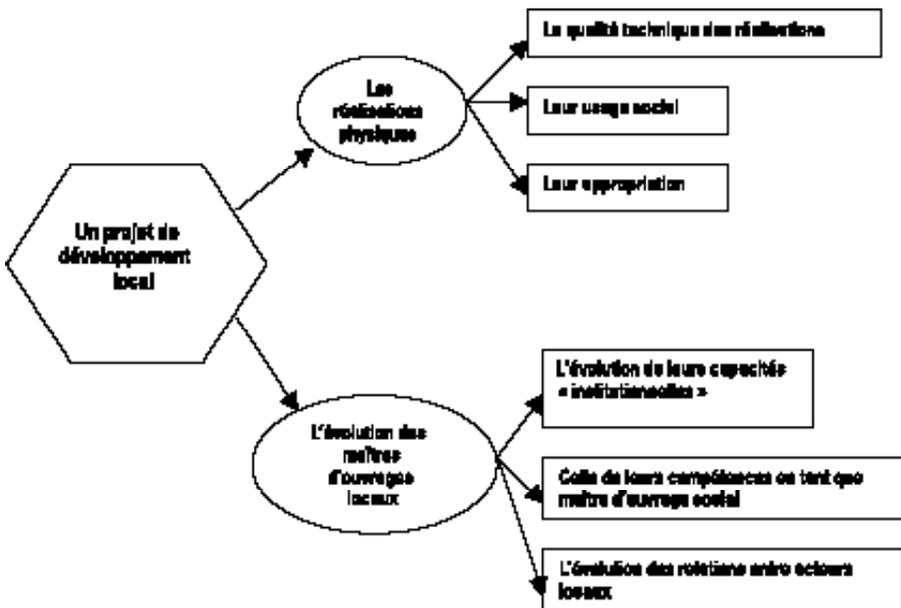
Avant l'évaluation

- > *premières décisions, premiers cadrages* : l'évaluation décidée, son commanditaire, qui peut être « pluriel », doit préciser, en fonction de ses objectifs, le type d'évaluation qu'il souhaite, les personnes qu'il désire associer à sa préparation, les principales questions auxquelles il attend des réponses.
- > *l'élaboration des termes de références* : ce premier travail de cadrage va se concrétiser lors de l'élaboration des termes de référence, un document destiné aux futurs évaluateurs. Le commanditaire y précise ses attentes et les objectifs de l'évaluation. Il décrit succinctement l'objet à évaluer, détaille les questions qu'il se pose et indique les éléments de méthode qu'il souhaite voir respecter.
- > *le choix des évaluateurs* : le profil des évaluateurs est défini dans les termes de références en fonction de l'objet à évaluer et des questions posées. Le commanditaire peut choisir directement ses évaluateurs ou procéder par appel d'offres en envoyant ces termes de références à plusieurs d'entre eux et en retenant les meilleures réponses.
- > *la négociation de la note méthodologique* : quelles que soient les modalités de ce choix, le commanditaire a intérêt à demander à ses évaluateurs de rédiger une note méthodologique. C'est une proposition : elle indique la problématique, les critères et la méthode que les évaluateurs vont suivre ou utiliser. Elle précise l'organisation et le déroulement prévu de leur travail. Cette proposition sert de base à la négociation entre le commanditaire et les évaluateurs et au contrat qui la conclut.

L'évaluation proprement dite

- > *le recueil des informations* : dans leur note méthodologique, les évaluateurs ébauchent une première grille d'évaluation qui prévoit sommairement la nature des informations à collecter, les méthodes et les sources possibles pour cette collecte. Cette grille est ajustée et précisée en début d'évaluation. Classiquement les évaluateurs travaillent par études documentaires (c'est l'occasion d'insister sur l'importance des traces écrites laissées par un projet et de leur archivage), par entretiens individuels et collectifs, et par enquêtes, selon des méthodes standards d'échantillonnage et d'entretien.

- > *le traitement des informations* : les évaluateurs recueillent ainsi deux types d'informations : des données quantitatives et factuelles, et des opinions ou jugements. Ils exploitent les premières par comparaison, sur le mode prévision/réalisation, avant/après, avec/sans, différence selon les acteurs et leur positionnement... Ils vont aussi souvent qualifier ces données en les comparant à des références extérieures au projet et à son environnement immédiat. Le choix de ces références est évidemment une des clefs du travail de l'évaluateur. Ce choix doit être explicite. Il n'est pas illégitime que les commanditaires et les «évalués» aient leur mot à dire sur ce choix, avant ou au début de l'évaluation. L'utilisation des opinions et des jugements implique de les distinguer et d'objectiver la situation et la représentativité de ceux qui les ont émis.
- > *la synthèse des informations* : pour jouer son rôle d'aide à la décision, l'évaluation doit se conclure par une synthèse qui met en évidence les principales qualités de l'objet évalué et, si possible, les principaux éléments qui ont déterminé ces qualités. Cette synthèse peut, par exemple, prendre la forme d'une liste des principaux points forts et points faibles d'un projet ou d'une institution, en soulignant les potentiels et les risques qui peuvent bonifier les premiers ou aggraver les seconds. Dans ses conclusions, l'évaluateur doit distinguer ce qui provient de faits avérés de ce qui procède d'opinions argumentées. Il lui est souvent demandé de proposer des recommandations ou des pistes d'actions d'amélioration au terme de son travail.
- > *la restitution* : l'évaluation se conclut obligatoirement sur le terrain par une restitution orale. Elle permet à l'évaluateur de rendre compte de ses conclusions provisoires aux principaux acteurs concernés et d'en débattre avec eux. C'est une étape cruciale pour l'efficacité de l'évaluation. Ses appréciations et ses recommandations ne seront utiles que si elles sont acceptées et comprises. Elles ne peuvent l'être que si elles sont débattues.



► Figure 4. Les domaines de qualité d'un projet : l'exemple d'un projet de développement local

L'après-évaluation

L'évaluateur rédige systématiquement un rapport à la fin de son travail. En général, il en soumet une version provisoire au commanditaire qui, en retour, lui fait part de ses remarques. L'évaluateur en tient compte pour rédiger une version définitive. Son rapport est la propriété du commanditaire. Il n'a pas le droit de diffuser des éléments de son contenu sans l'accord de celui-ci.

Il existe plusieurs conceptions de l'évaluation. Pour la majorité des commanditaires, le travail de l'évaluateur s'arrête strictement à l'approbation du rapport définitif. Pour d'autres, il est le mieux placé pour accompagner le début de la mise en œuvre des changements qu'il a recommandés.

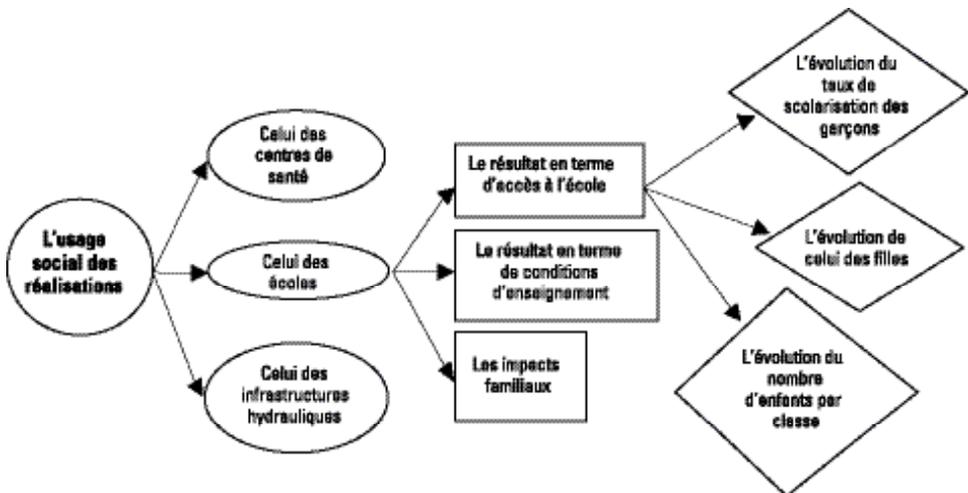
● Domaines, critères et indicateurs de qualité

L'évaluation consiste à apprécier, le plus objectivement possible, la qualité d'un objet complexe comme un projet ou une institution de développement.

L'évaluateur commence par définir les grands domaines de qualité qu'il va prendre en considération pour déterminer la qualité globale de l'objet évalué.

Pour chacun de ces domaines il va ensuite choisir des critères. Les critères sont une caractéristique ou des points que l'on estime essentiels pour apprécier la qualité ou la valeur d'un objet. L'âge et la production sont deux critères pour apprécier la valeur d'une vache laitière ; la durée du cycle, le rendement mais aussi les qualités organoleptiques sont des critères pris en compte par les paysans pour choisir leurs variétés de riz.

L'évaluateur a enfin besoin de définir des indicateurs pour mesurer et comparer ces objets ou ces domaines en fonction des critères qu'il a retenus. La quantité de lait exprimé en litres par lactation est un indicateur pour apprécier la qualité d'une vache selon le critère *production*. Le rendement mesuré en tonnes par hectare après des essais menés selon un protocole précis est un indicateur pour apprécier une variété de riz selon le critère *productivité*. L'indicateur est une donnée quantifiable qui permet de comparer la qualité des objets selon un critère donné.



► Figure 5. Des domaines de qualité aux critères et aux indicateurs

Selon la complexité de l'objet à évaluer, la démarche, qui va des domaines de qualité aux critères puis aux indicateurs, est plus ou moins longue et complexe.

Toutes les qualités d'un objet ne se peuvent pas se mesurer à l'aide d'un indicateur quantifiable. Il existe d'autres méthodes pour les apprécier objectivement, notamment à partir du jugement des acteurs directement concernés par l'objet en question.

● Les principaux critères utilisés pour l'évaluation de projet

Les évaluations de projets ou de programmes de développement recourent en général à six grandes familles de critères. Les deux premières, la pertinence et la cohérence, visent pour l'essentiel leur conception. L'efficacité porte sur leur mise en œuvre. L'efficacités concerne leurs résultats immédiats. L'appréciation de ces derniers demande également l'examen de leur impact et un pronostic sur leur viabilité ou leur reproductibilité. On peut trouver des définitions assez variables de ces critères. Mais la plupart des auteurs s'accordent sur les notions qu'ils recouvrent.

● La pertinence

S'interroger sur la pertinence d'un projet consiste à apprécier sa «logique d'intervention», ses principes et ses objectifs principaux, au regard de la réalité qu'il se proposait de transformer. Est-ce que cette logique répond aux attentes et aux priorités des acteurs locaux concernés ? Est-elle appropriée au contexte local ? Est-ce qu'elle peut valoriser ses potentialités ou combler ses handicaps ? Est-elle cohérente avec le contexte général et les politiques nationales de développement ? Tient-elle compte des «règles de l'art» qui prévalent dans le domaine d'intervention du projet ?

● La cohérence

L'examen de la cohérence d'un projet interroge sa stratégie et sa prévision opérationnelle. Il porte sur sa cohérence interne et la façon dont elle traduit la logique d'intervention du projet. La stratégie prévue permettra-t-elle d'atteindre les objectifs fixés. Est-elle conforme aux principes d'intervention ? La prévision opérationnelle va-t-elle permettre d'appliquer la stratégie prévue ? Cette prévision est-elle adaptée aux objectifs ? Les différents éléments de cette prévision (moyens, activités, résultats prévus) sont-ils cohérents entre eux ?

L'examen porte également sur la cohérence externe de ces éléments et leur adaptation au contexte du projet. La stratégie, l'ingénierie sociale et les solutions techniques préconisées sont-elles adaptées au contexte économique et social et aux contraintes de l'environnement ? La prévision opérationnelle est-elle réaliste et cohérente avec l'environnement du projet (milieu naturel, organisation sociale, partenariats possibles) ?

● L'efficacité

Apprécier l'efficacité revient à répondre à la question «*est-ce que les moyens mobilisés pour réaliser le projet ont été utilisés de façon optimum ?*». Cette question peut être interprétée d'une manière très restrictive ou très large. Elle peut se limiter à l'analyse du rapport entre les coûts des moyens mobilisés, les actions menées et les résultats obtenus. Elle peut aussi porter sur l'appréciation de l'ensemble de la mise en œuvre du projet.

La notion d'*efficience-coût* est assez facile à concevoir pour les volets des projets qui visent des réalisations physiques et des actions normées (en soin de santé, en formation). Elle s'applique plus difficilement aux volets des projets processus qui s'attachent à l'évolution des capacités et de l'organisation des acteurs locaux.

La notion d'*efficience-mise en œuvre* renvoie à des disciplines assez différentes selon l'objet évalué : structure projet opératrice, montage multi-acteurs, volet de l'activité globale d'une institution...

● **L'efficacité**

S'interroger sur l'efficacité d'un projet revient à poser l'une ou l'autre des deux questions suivantes : ses réalisations sont-elles conformes aux prévisions ? Ont-elles répondu à ce qu'on attendait d'elles ? Ces deux questions reflètent deux conceptions un peu différentes de l'efficacité.

Selon la première, l'examen de l'efficacité se limite à une comparaison prévision/réalisation. Elle est adaptée aux projets qui ne prévoient, pour l'essentiel, que des réalisations physiques normées. Son utilisation abusive, strictement quantitative, aboutit parfois à des conclusions paradoxales : un projet serait un *bon* projet quand toutes les réalisations physiques programmées ont été réalisées dans les délais voulus et avec le budget prévu... quels que soient leur qualité, leur usage, leur appropriation et leur impact.

Selon la seconde, l'efficacité équivaut à la qualité des résultats. Cette qualité s'apprécie non seulement au regard des prévisions opérationnelles mais aussi de la logique du projet et des critères spécifiques aux types d'activités ou de réalisations visées.

● **L'impact**

L'analyse de l'impact d'une action consiste à apprécier l'ensemble de ses effets sur son environnement. Quels sont les effets des réalisations du projet sur la réalité qu'il se proposait de transformer ? Quels sont les changements qu'elles ont directement ou indirectement induits ? Comment peut-on les caractériser ? Correspondent-ils à la logique de l'intervention prévue ?

La notion d'impact est simple à percevoir. Elle au cœur des projets de développement censés accompagner des dynamiques de changement. Mais elle ouvre un champ particulièrement vaste. Ces changements peuvent être économiques, sociaux, environnementaux, institutionnels, politiques, culturels...

L'évaluation de l'impact n'a donc rien d'évident. Elle peut distinguer les impacts attendus et les impacts inattendus. Les premiers font partie des objectifs initiaux du projet, ou sont aisément prévisibles compte tenu du contexte et du type d'intervention. Leur analyse commence sur le mode de l'élaboration et de la vérification d'hypothèse. Les seconds n'ont pas été prévus ou anticipés. Ils peuvent cependant être tout à fait réels et importants. L'observation et les enquêtes non directives permettent de les repérer.

● **La viabilité ou la reproductibilité**

La viabilité et la reproductibilité sont des critères complémentaires de l'efficacité et de l'impact. Ils invitent l'évaluateur à s'interroger sur la durabilité des résultats obtenus par le projet (la durée de vie des infrastructures construites, la pérennité des services

et des activités créés, l'évolution probable des nouvelles organisations locales suscitées). Ils posent la question de la diffusion ultérieure des techniques et des méthodes élaborées au cours du projet.

● **Le suivi**

● **Les objectifs d'un dispositif de suivi**

Les outils de suivi doivent être utiles au pilotage des activités d'un projet ou d'une institution. Ils sont en général conçus pour répondre à trois questions :

● **Les réalisations sont-elles conformes aux prévisions ?**

Il s'agit de vérifier en continu et en temps réel si le projet respecte son plan d'action, ses échéances, ses coûts prévisionnels et le cahier des charges de ses réalisations. Le projet doit pouvoir ajuster rapidement son organisation s'il s'écarte trop de ses prévisions. Si cet écart se creuse malgré les premières corrections, il devra adapter, voire renégocier son plan d'action.

● **Les hypothèses de pertinence et de cohérence du projet sont-elles toujours vérifiées ?**

L'action d'un projet est en général fondée sur une batterie d'hypothèses techniques, économiques ou institutionnelles. Le développement d'une nouvelle filière est cohérent avec un niveau de productivité du travail, de coûts, de prix, de fluidité du marché. Si les hypothèses techniques ne se confirment pas ou si l'environnement économique change brutalement, le projet devra revoir sa stratégie.

● **L'impact réel est-il conforme à l'impact attendu ?**

Les objectifs initiaux d'un projet décrivent les résultats ou les impacts immédiats qu'il vise. Il doit se doter des moyens de vérifier s'il les atteint. Les actions menées pour développer une filière doivent se traduire par une augmentation de la production. Celle-ci doit se concrétiser en terme de revenu pour les paysans, qui doivent ainsi pouvoir faire évoluer l'ensemble de leur système de production. Si des résultats techniques positifs n'entraînent pas la chaîne vertueuse prévue, le projet devra essayer de faire évoluer sa logique d'intervention.

● **Le choix, la collecte et le traitement des indicateurs du suivi**

Le suivi consiste à collecter et traiter des informations de façon continue et régulière. Ces informations doivent pouvoir être synthétisées sous la forme d'indicateurs facilement quantifiables (absence/présence, fort/moyen/faible) ou mesurables (quantités mises en marché, prix, nombre d'agriculteurs formés...). La mesure de ces indicateurs faite à un moment et en un lieu donnés doit pouvoir être comparée à une prévision initiale ou à une mesure analogue faite à une autre date, en un autre lieu, ou auprès d'une autre catégorie d'acteurs. La qualité du système de suivi dépend donc de la qualité des indicateurs.

● **La qualité des indicateurs**

Les moyens nécessaires à la collecte et au traitement des données doivent être cohérents avec ceux dont dispose le projet. Il faut se méfier des dispositifs surdimensionnés et trop gros consommateurs d'énergie.

Il doit exister une corrélation forte et indiscutable entre les indicateurs utilisés et les faits et les mécanismes qu'ils sont censés mesurer. L'absence ou l'existence des éléments formels de la vie associative (règlements écrits, postes officiels pourvus) ne préjuge pas forcément de la réalité du fonctionnement d'une association locale.

Les résultats de la collecte des données doivent être fiables, indépendants des personnes qui en sont chargées et des conditions dans lesquelles elle est effectuée.

● **Le traitement des données et son usage**

Des données qui ne sont ni traitées ni utilisées ne servent à rien... C'est une évidence, mais on rencontre souvent des projets trop perfectionnistes qui collectent et accumulent plus de chiffres qu'ils ne peuvent en traiter. Ils découragent à la longue le personnel chargé de participer à cette collecte.

Un dispositif de suivi sert à piloter et à orienter un projet. Le traitement des données, sous la forme de synthèse ou de tableau de bord, doit donc être organisé sur un rythme cohérent avec celui de la programmation et des prises de décisions.

Les dispositifs de suivi sont souvent placés sous la responsabilité de petites équipes d'une ou deux personnes. Mais la collecte des données «dérange» souvent beaucoup de monde : agents de terrain chargés des fiches de suivi, partenaires régulièrement interrogés sur leur activité... Ces personnes se lassent de cet exercice et la qualité des données en pâtit si elles ne sont jamais associées aux restitutions qui valorisent cet aspect de leur travail.

Si un projet prétend associer l'ensemble de son équipe ou de ses partenaires à son pilotage, la logique et l'efficacité veulent qu'ils soient aussi associés à la conception et à l'exploitation de son système de suivi.



2 2

L'appui aux organisations rurales et les services aux producteurs

- 2.2.1 Les organisations paysannes
et rurales**
- 2.2.2 Les filières agricoles
et agro-alimentaires**
- 2.2.3 Le crédit rural**
- 2.2.4 La formation, l'information,
les centres de services**

Les organisations paysannes et rurales

À partir d'une contribution de M.R. Mercoiret (CIRAD)

Les agents qui interviennent directement auprès des producteurs sont aujourd'hui amenés à collaborer avec des organisations paysannes et rurales (OPR)¹ :

- > soit parce que cela est le mandat central de leur institution ;
- > soit parce la participation des organisations paysannes s'avère nécessaire pour atteindre les objectifs poursuivis par leurs programmes ;
- > soit, enfin, parce que les organisations présentes dans leur zone d'intervention sont suffisamment fortes pour revendiquer leur participation à la définition et à la mise en œuvre d'actions qui les concernent.

DES ORGANISATIONS DIVERSES, EN ÉVOLUTION PERMANENTE

● *La diversité des formes d'organisation en milieu rural*

Beaucoup a déjà été dit et écrit² pour caractériser l'extrême diversité du phénomène associatif en Afrique subsaharienne. Des typologies ont été proposées qui classent les organisations selon leur origine, la nature de leurs activités, etc. On ne reprendra pas ici ces analyses, notant seulement que le terme «d'organisations paysannes et/ou rurales» recouvre, par commodité, des formes d'organisation ayant parfois peu de traits communs.

● **Des tailles diverses**

Celle-ci peut aller de quelques adhérents à plusieurs milliers, voire plusieurs centaines de milliers. Les ambitions d'une organisation, les moyens dont elle peut se doter pour les concrétiser, sa capacité, au moins potentielle, à peser sur les décisions qui concernent les producteurs, sont en partie fonction du nombre de ses adhérents. Il n'y a pas cependant de corrélation automatique entre la taille d'une organisation et son efficacité en termes d'action.

¹ Nous emploierons par la suite les initiales OPR pour désigner de manière abrégée les organisations paysannes et rurales.

² Cf. bibliographie.

● **Des statuts différents**

De nombreuses organisations de base ont longtemps fonctionné sans aucun statut juridique : leur volume d'activité ne le justifiait pas ou, placées sous la tutelle d'institutions de développement, elles agissaient sous leur couvert. Dans la période récente, de nouveaux textes réglementaires ont vu le jour et un statut juridique est souvent requis pour ouvrir un compte bancaire par exemple. On observe cependant que la réalité de certaines organisations paysannes ne correspond que partiellement au statut qu'elles ont adopté ou qui leur a été suggéré.

● **Des activités variées**

Si toutes mènent ou projettent de mener des activités économiques, certaines y ajoutent des activités d'intérêt général ou de type syndical. La tendance, encouragée souvent par les acteurs institutionnels, est cependant à une spécialisation des organisations, à la séparation des activités économiques des activités d'intérêt général ou à la spécialisation autour d'une filière/produit, parfois dans une fonction : l'épargne et le crédit, l'approvisionnement, etc.

La fonction de représentation et de défense des intérêts des producteurs est souvent incluse dans les organisations économiques et les syndicats déclarés comme tels aspirent souvent à jouer aussi un rôle dans la mise en place et le fonctionnement de services à l'agriculture. Plus que son statut juridique et ses objectifs officiels, la caractérisation précise des activités menées par une organisation est souvent éclairante à la fois sur ses objectifs et sur la marge d'initiative laissée par les pouvoirs publics.

● **Des modes de fonctionnement différents**

La taille réduite d'une organisation ne garantit pas toujours un fonctionnement démocratique ni une gestion transparente. L'autonomie des organisations vis-à-vis des formes de pouvoir et de contrôle social au sein des sociétés locales, comme vis-à-vis des organismes de développement, publics et privés, est très variable : le poids officiel et officieux des tutelles s'atténue mais il peut persister de façon moins ouverte. Les questions de communication interne et de participation des adhérents aux décisions se complexifient quand la taille de l'organisation augmente, et ceci d'autant plus que les ressources manquent souvent pour payer des déplacements, faire circuler l'information, etc.

Les résultats obtenus, très variables, sont à évaluer par rapport aux objectifs que les organisations se sont fixés et aux ressources qu'elles ont pu mobiliser pour les atteindre. Les résultats sont souvent fonction de plusieurs facteurs : la clarté des objectifs visés, la capacité des organisations à construire des programmes réalistes et conformes aux attentes et aux intérêts de leurs adhérents. Ils dépendent également de leur capacité à nouer des relations avec les acteurs extérieurs, à obtenir les ressources nécessaires pour réaliser leurs programmes d'action et à négocier des contrats équilibrés avec les acteurs économiques et institutionnels. Ces contrats peuvent porter sur un service ponctuel, un programme de développement local ou la définition et la mise en œuvre d'une politique agricole.

● Des évolutions rapides et significatives

● La montée en puissance des organisations paysannes

Depuis une quinzaine d'années, les dynamiques d'organisation des ruraux se sont renforcées et elles se sont aussi largement autonomisées vis-à-vis notamment des pouvoirs publics. En témoignent :

- > *la multiplication des organisations à l'échelon micro-local.* Elles peuvent regrouper des personnes sur des critères sociaux, de proximité géographique, ou sur des critères socioprofessionnels. Ce mouvement traduit souvent plus la restructuration de groupes existants, leur formalisation (acquisition d'un statut juridique) que l'émergence de nouvelles organisations ;
- > *les regroupements des organisations de base à des échelles supérieures.* De plus en plus fréquents, ils s'effectuent à l'échelle locale, régionale, voire nationale et sous-régionale. Par exemple, en Afrique de l'Ouest, le Conseil national de concertation des ruraux (CNCR), au Sénégal, est sans doute «l'organisation faîtière» la plus ancienne et le Conseil des organisations de Guinée l'une des plus récentes. Le Réseau des organisations paysannes et des producteurs agricoles d'Afrique de l'Ouest (ROPPA) s'est créé en juillet 2000. Ces regroupements visent généralement trois types d'objectifs : réaliser des économies d'échelle en matière d'approvisionnement et de commercialisation ; mettre en place et faire fonctionner des services nécessaires aux producteurs ; accéder aux centres de décision pour que soient pris en compte les intérêts des producteurs.

Les évolutions récentes concernent aussi la capacité, certes variable mais croissante, des producteurs organisés à prendre la parole dans des cadres de concertation entre acteurs. Ces cadres peuvent être sectoriels (dans le cadre d'une filière) ou territoriaux. Ils peuvent être mis en place à l'initiative des acteurs institutionnels ou grâce à l'action des organisations paysannes : le Syndicat de producteurs cotonniers et vivriers (SYCOV), au Mali, est signataire depuis plusieurs années du contrat de plan concernant la filière coton alors que ce contrat ne devait initialement lier que la société cotonnière et l'Etat.

Le développement de multiples collaborations entre les OPR et leurs partenaires témoignent également des évolutions en cours, qu'il s'agisse d'accords commerciaux avec des opérateurs économiques privés, de coopération avec des programmes de taille et de nature très diverses, avec des institutions de recherche ou de vulgarisation.

On peut noter également le rôle croissant joué par des organisations paysannes dans la mise en place et le fonctionnement de structures économiques d'approvisionnement, de commercialisation (coopératives de l'URECOCI en Côte d'Ivoire), de structures d'information et de formation des producteurs, etc.

● Les facteurs de ce renforcement

Trois facteurs ont contribué à ces processus de renforcement et d'autonomisation des organisations paysannes.

● ***Le désengagement des Etats des fonctions d'appui à l'agriculture***

Il a été, à l'évidence, un facteur important, parfois déclencheur, parfois accélérateur. Ce retrait a certes largement désorganisé l'environnement de la production agricole. Il a eu des conséquences parfois lourdes pour les catégories de producteurs les plus vulnérables. Mais il a aussi ouvert un espace d'initiative économique que certaines organisations ont su et pu valoriser.

● ***La démocratisation de la vie publique***

Dans divers pays, elle a accompagné le processus de désengagement de l'Etat et a favorisé l'émergence ou le renforcement d'organisations autonomes. De nouveaux cadres juridiques ont été mis en place, moins contraignants pour les producteurs et souvent plus appropriés à leurs projets, comme le statut de «groupement d'intérêt économique» qui a connu un grand succès au Sénégal.

● ***L'intérêt accru des acteurs institutionnels***

Cet intérêt joue un grand rôle dans la consolidation des dynamiques actuelles : alors que l'appui aux organisations paysannes autonomes a longtemps été le fait des ONG du Nord ou de certaines coopérations bilatérales, les programmes de professionnalisation de l'agriculture soutenus par le ministère français des Affaires étrangères, les programmes d'autopromotion de la GTZ et, plus récemment, l'intérêt manifesté par la Banque mondiale pour les organisations de producteurs, ont eu un impact évident tant pour les organisations elles-mêmes qu'auprès des pouvoirs publics. Ces programmes ont deux effets complémentaires : d'une part, ils renforcent la légitimité externe des organisations concernées, vis-à-vis des pouvoirs publics en particulier ; d'autre part, ils sont générateurs de ressources nouvelles qui permettent de renforcer les capacités internes des organisations, leur capacité d'action, ce qui accroît en retour leur légitimité vis-à-vis des adhérents.

● ***Des évolutions positives mais différenciées***

Les évolutions positives globales de ces dix ou quinze dernières années ne doivent pas occulter les trois faits suivants :

- > elles s'effectuent à des rythmes très variables ;
- > toutes les organisations sont loin d'avoir les mêmes possibilités pour valoriser les opportunités offertes et relever les défis auxquels sont confrontés les producteurs ruraux ;
- > l'offre des acteurs institutionnels oriente souvent, bien que dans proportions variables, les choix effectués par les organisations.

● ***L'importance du contexte sociopolitique***

Le contexte sociopolitique et juridique est, selon les pays et les régions, très diversement favorable à l'émergence d'une profession agricole forte, organisée et autonome. Ainsi, dans certaines sociétés locales fortement hiérarchisées, il n'est pas aisé pour les producteurs de s'émanciper des pouvoirs locaux. Le pouvoir politique ne perçoit pas toujours positivement les regroupements d'organisations à différentes échelles géographiques et à différents niveaux de décision. Il n'est pas toujours acquis à la concertation avec les producteurs organisés.

Certains pouvoirs politiques, encore marqués par la culture du parti unique, méconnaissent le rôle que peuvent jouer «les corps intermédiaires». Ils expriment plus ou moins ouvertement des réserves à l'endroit d'un «partenariat» avec les organisations, et cette défiance incite les responsables de ces organisations à la prudence.

Les réformes visant à assouplir le statut juridique des OPR, et la façon dont elles sont appliquées sont un indicateur de la diversité des positions prises par les pouvoirs publics : des procédures de reconnaissance complexes, tatillonnes ou coûteuses, existent encore ici et là et contrastent avec l'extrême souplesse qui est de mise ailleurs.

● L'influence de l'offre institutionnelle

L'intérêt des acteurs institutionnels, et notamment des principaux bailleurs de fonds, pour les organisations paysannes peut se traduire par des offres de partenariat qui coïncident diversement avec les objectifs et les priorités des organisations concernées. Ainsi, la coopération française inscrit majoritairement ses programmes d'appui à la professionnalisation de l'agriculture dans une logique d'accompagnement des organisations. La Banque mondiale s'intéresse aux organisations³ surtout pour faire aboutir des réformes institutionnelles. D'autres bailleurs de fonds mettent l'accent sur la création d'organisations sectorielles, structurées principalement autour des grandes filières d'exportation et centrent leur offre sur le rôle économique des organisations, etc.

Les justifications des choix faits par les acteurs institutionnels sont souvent pertinentes. Cependant, il convient de se demander si ces choix correspondent toujours aux attentes, projets et priorités des organisations. N'existe-t-il pas un risque d'instrumentalisation des OPR ? Quelle que soit la réponse à ces questions, il est évident que les organisations sont réceptives aux offres diverses qui leur sont faites, soit qu'elles adhèrent aux objectifs poursuivis par les acteurs institutionnels, soit qu'elles s'en accommodent pour avoir accès aux ressources nécessaires pour agir.

● Des capacités variables de proposition, de négociation et d'action

Face à un environnement qui a connu de profondes mutations (désengagement de l'Etat, libéralisation des échanges) et confrontées à de nombreux défis, les OPR ne disposent pas toutes des mêmes atouts. Ces différences sont liées notamment :

- > à l'accès très inégal des responsables paysans à l'information et aux moyens souvent très limités dont ils disposent pour diffuser les informations qui leur parviennent ;
- > à l'expérience des organisations, très diverse, qui influe sur leurs capacités à nouer des relations avec l'extérieur, à mobiliser des collaborations et des ressources, etc. ;
- > au nombre très variable de responsables formés, susceptibles d'animer des démarches internes permettant la définition d'orientations stratégiques et de programmes de travail, capables de les négocier avec les acteurs extérieurs, d'assurer le suivi, la mise en œuvre et l'évaluation de programmes.

La nature des productions concernées peut aussi être un facteur de différenciation entre les organisations.

³ L'objectif principal des programmes soutenus actuellement par la Banque mondiale est la mise en place de services (recherche-vulgarisation) orientés vers le client, le renforcement des organisations étant un moyen d'y parvenir.

Ainsi, les pouvoirs publics peuvent être plus attentifs aux positions prises par les organisations dans les zones ou pour les produits jugés stratégiques pour l'économie nationale qu'aux propositions ou revendications émanant par exemple de producteurs vivriers ou de petits groupements féminins de production maraîchère.

La capacité à agir simultanément, et de façon articulée, à différentes échelles géographiques et à différents niveaux de décision est, elle aussi, très différente selon les organisations. Il s'agit là d'une condition importante de leur efficacité. En effet, la résolution des problèmes identifiés combine dans nombre de cas des interventions allant du niveau local au niveau national, voire international.

CONSTRUIRE DES PARTENARIATS AVEC LES ORGANISATIONS PAYSANNES

Les orientations méthodologiques proposées dans ce chapitre ne constituent pas «un mode d'emploi pour l'appui aux organisations paysannes», chaque situation étant un cas particulier. Les orientations, les méthodes et les outils proposés, tirés de l'expérience, n'ont pour but que d'éclairer les démarches spécifiques qui sont à inventer au cas par cas.

● ***Deux conditions à la réussite des partenariats***

● **Construire le partenariat dans la durée**

La plupart des acteurs institutionnels expriment une volonté de travailler avec les OPR. Celles-ci, de leur côté, sont quasi unanimement demandeuses d'appuis et de collaborations. Cette convergence apparente entre les attentes des deux parties ne suffit pas à garantir des collaborations productives. L'histoire de la collaboration entre des acteurs institutionnels et des OPR met en évidence des réussites indéniables mais aussi des collaborations laborieuses et parfois décevantes.

Un certain nombre de collaborations entre des OPR et des structures d'appui au développement rencontrent des difficultés parce qu'elles sont construites sur des malentendus initiaux, qui se révèlent ensuite peu à peu, rendent difficile la communication entre les partenaires et génèrent parfois des tensions. Quatre précautions permettent de limiter ces malentendus.

● ***Prendre le temps d'établir les collaborations***

Même si les collaborations mettent souvent du temps à se concrétiser, elles sont parfois décidées après quelques réunions et visites rapides. Les deux parties se mettent souvent d'accord sur un projet de travail commun sans expliciter suffisamment les attentes respectives de chacun, les objectifs précis de la collaboration projetée, les modalités concrètes de sa mise en oeuvre et celles de son évaluation. Cet empressement peut venir des agents de développement et des contraintes de leurs institutions: durée des projets, modalités d'attribution des financements, obligations de résultats à échéances fixes... Il peut correspondre aussi à l'impatience d'organisations paysannes qui ont un besoin impératif de ressources matérielles et financières, d'information, de formation, etc.

● **Bien connaître «l'autre»**

Les intervenants extérieurs cernent parfois mal les réalités économiques et sociales que recouvrent les organisations avec lesquelles ils veulent collaborer. Ils ont une perception vague, partielle et/ou partielle des objectifs des organisations, de leur fonctionnement interne, de leur capacité réelle de négociation et d'action. Des représentations naïves et parfois des préjugés peuvent ainsi tenir lieu d'analyse de la situation des organisations. Pour leur part, nombre d'organisations (notamment à l'échelon local) semblent peu curieuses de connaître l'institution avec laquelle elles projettent de collaborer. Elles ne mesurent pas toujours bien les contraintes liées aux appuis proposés et elles ont souvent peu d'informations sur la vision que l'institution a du rôle des organisations paysannes, sur ses principes d'action, ses critères d'évaluation, etc.

● **Elaborer des accords précis**

Les accords conclus entre les structures d'appui et les organisations décrivent parfois de façon très imprécise le contenu et les modalités de la collaboration projetée. Les parties concernées paraissent s'accommoder de ce «flou» soit parce qu'elles cernent elles-mêmes mal la nature et les modalités concrètes de la collaboration future, soit parce que ce «flou» crée une marge de manœuvre que chaque partie pense pouvoir utiliser à son profit, etc.

Se méfier des accords hâtifs et flous

Les accords hâtifs et flous peuvent générer des ambiguïtés, des tensions voire des conflits. Ainsi, par exemple :

- un partage préalable imprécis des tâches et des charges peut faire échouer une action, chacune des parties considérant que l'autre est défaillante ;
- la méconnaissance des contraintes auxquelles est soumise chacune des parties peut altérer la confiance réciproque : un retard de financement, dû à des règles institutionnelles parfois complexes, peut être imputé à l'agent de terrain qui, pourtant, subit lui-aussi ces règles...
- le contrôle de la gestion financière et l'évaluation peuvent être mal vécus par les deux parties si leurs objectifs n'ont pas été précisés et si les modalités concrètes de leur réalisation n'ont pas été définies, au départ, de façon négociée et explicite.

● **Concrétiser le partenariat par un «contrat»**

Très largement utilisée, la notion de *partenariat* mérite d'être précisée. Le dictionnaire définit le *partenaire* comme «*la personne associée à une autre pour la danse, dans un exercice sportif, professionnel*», le contraire étant *l'adversaire, le compétiteur, le rival*. La relation de partenariat suppose :

- > l'existence d'un objectif commun (la raison pour laquelle les parties s'associent) ;
- > la reconnaissance réciproque des différentes parties et notamment de leur légitimité ;
- > la traduction des modalités de collaboration dans un «contrat», celui-ci étant entendu comme un accord qui identifie les différentes parties concernées, les objectifs visés par l'accord, les modalités définies pour les atteindre, les obligations réciproques de chacune des parties, etc.

Ainsi défini, le partenariat entre les OPR et les acteurs institutionnels ne peut s'établir d'emblée : en effet, il résulte d'une construction collective et s'inscrit dans la durée.

La reconnaissance par les parties de leurs différences constitue un premier pas ; elle facilite l'identification de convergences, de complémentarités possibles, et suppose un investissement spécifique. Les contraintes à court terme des différentes parties favorisent rarement l'identification d'enjeux communs. L'élargissement de la réflexion sur le moyen terme favorise souvent l'élaboration de compromis concernant le court terme.

Des préjugés réciproques existent dans beaucoup de cas : « *ces organismes d'appui si dirigistes hier ont-ils vraiment changé ?* » ; « *ces responsables paysans représentent-ils vraiment les intérêts de leur base ?* ». Souvent hérités d'un passé parfois bien proche, ils freinent le dialogue. Seule la pratique peut venir à bout de ces préjugés dès lors que les deux parties s'efforcent réellement de mettre leur action en conformité avec leur discours.

La position initiale des deux partenaires est souvent asymétrique. Ils n'ont pas le même accès à l'information, à la formation... L'un détient les ressources dont l'autre a besoin. Le renforcement des capacités d'analyse, de proposition, de négociation et d'action des organisations paysannes est souvent une condition de la construction de partenariats stables et durables.

● **Préciser le positionnement des acteurs institutionnels**

Les raisons qui peuvent conduire un acteur institutionnel à collaborer avec des OPR sont multiples. Il est important qu'elles soient précisément et explicitement identifiées par l'institution concernée (et par les agents de terrain) et qu'elles soient portées à la connaissance des partenaires. En effet, plus les attentes et les intérêts respectifs des parties sont explicites et plus les risques de malentendus diminuent. On peut identifier au moins deux grands cas de figure.

● ***L'appui direct aux organisations paysannes***

L'objectif est d'apporter un appui direct à une ou plusieurs organisations. Les projets et programmes d'appui peuvent intervenir en réponse aux demandes de celles-ci ou à l'initiative d'une institution d'appui. Ils visent explicitement le renforcement des capacités internes des organisations qu'ils accompagnent, en respectant théoriquement leurs dynamiques et les projets qu'elles poursuivent.

● ***Les programmes de développement à vocation plus large***

Ces interventions poursuivent leurs propres objectifs (la gestion des ressources renouvelables, le développement local, la réforme des systèmes de recherche et de vulgarisation agricoles...). Pour les atteindre, elles estiment nécessaire de nouer des partenariats avec des OPR :

- > parce que ces organisations sont des acteurs locaux (ou régionaux) importants et politiquement influents (programme de développement local) ;
- > parce qu'elles sont incontournables compte tenu à la fois de leurs rôles et des objectifs de l'intervention (gestion des ressources naturelles, meilleure prise en compte par la recherche des pratiques et priorités des producteurs...) ;
- > parce qu'elles peuvent servir de relais entre le programme et les catégories particulières concernées.

Ces partenariats ne sont pas toujours proposés par les projets. Les organisations sont parfois suffisamment fortes pour revendiquer leur participation à des programmes qui concernent leur zone d'action, même si leur participation n'était pas prévue au départ.

La distinction entre ces deux grands types de situation n'a rien d'académique : elle est essentielle pour un bon positionnement des agents de terrain vis-à-vis des organisations paysannes présentes dans les zones où ils interviennent. Cette distinction devrait générer, au plan pratique, des approches différenciées en termes de diagnostic, de programmation, d'action et d'évaluation. Elle devrait également entraîner des relations de nature différente et des exigences réciproques différenciées.

● **Les étapes d'une démarche progressive**

Un schéma d'une démarche de collaboration avec les OPR est présenté ci-après. Il a pour but d'éclairer la construction de démarches opérationnelles, toujours spécifiques.

Pour la commodité de l'exposé, sept «étapes» sont présentées. Il est clair cependant qu'il s'agit d'une démarche itérative et que, dans la pratique, les différentes étapes ne s'inscrivent pas dans une progression strictement linéaire.

● **Une information préalable, large et réciproque**

Dans tous les cas de figure, les agents de développement doivent commencer par présenter leur projet ou leur institution aux organisations existant dans leur zone d'action. Cette information devrait s'adresser aux responsables des organisations paysannes fédératives (s'il en existe) et ensuite, et selon des modalités établies avec eux, aux organisations de base. Elle doit être précise et homogène donc bien préparée. Des variations dans le discours peuvent en effet introduire des confusions ou générer des malentendus.

Cette information devrait aussi s'accompagner d'échanges avec les responsables des OPR concernées et des adhérents de base. Il ne s'agit pas à ce stade de démarrer un diagnostic mais de faire connaissance, de témoigner de l'intérêt pour les producteurs, pour ce qu'ils font, pour les actions menées par les organisations aux différents niveaux auxquels elles se structurent.

Les résultats attendus de cette information peuvent être de trois types :

- > identifier les organisations ;
- > créer un climat favorable pour la réalisation des étapes suivantes ;
- > réaliser les premières observations qui seront considérées, à ce stade, comme des hypothèses à vérifier.

● **Le diagnostic de la situation de départ**

Le diagnostic qui doit préparer la collaboration avec une OPR ne doit être ni conçu, ni perçu comme une enquête externe débouchant sur un jugement porté sur l'organisation. Ses objectifs, ses modalités de réalisation et l'utilisation des résultats doivent être négociés au préalable avec les responsables de l'organisation. Ceux-ci devront être associés le plus possible à l'ensemble de la démarche.

Certaines «curiosités» légitimes des intervenants extérieurs ne devraient être satisfaites que si cela ne pose pas de problèmes aux responsables de l'organisation : nature et gestion précise des ressources financières par exemple.

Le diagnostic initial doit être rapide, afin de ne pas décourager les interlocuteurs souvent soucieux de concret. Il pourra être approfondi par la suite, tout au long du processus de collaboration, selon des modalités qui seront évoquées plus loin. On trouvera en fin de chapitre une grille qui permet d'organiser la collecte des données nécessaires à l'élaboration d'un premier diagnostic externe. Cette première phase doit se conclure par une synthèse qui peut se structurer par exemple autour des points suivants :

- > les acquis de l'organisation : en termes d'adhérents, d'activités, de résultats, de reconnaissance extérieure, etc. ;
- > les défis et contraintes auxquels sont confrontés les producteurs de la zone en mettant en évidence la nature des changements, leur importance et leur impact sur les producteurs ;
- > les réponses apportées par l'organisation en distinguant les actions projetées des actions mises en oeuvre ;
- > les limites des actions de l'OPR, leurs causes et les solutions qu'elle envisage.

Cette synthèse doit être présentée et discutée avec les responsables des organisations. Cette présentation et cette discussion doivent permettre de prendre en compte leurs remarques, compléments, et suggestions. Elle peut être l'occasion d'identifier avec eux les aspects du diagnostic qui devraient faire l'objet d'une restitution plus large et les modalités concrètes de cette restitution.

La restitution du diagnostic aux adhérents gagne à être faite par les responsables de l'OPR car cela favorise l'appropriation du diagnostic et évite que l'intervenant extérieur apparaisse comme un « expert » susceptible d'améliorer l'efficacité de l'organisation.

● Définir et contractualiser un programme de travail à court terme

Un « bon » diagnostic, discuté avec les responsables et validé par les adhérents, ouvre des pistes de travail multiples car l'analyse de contraintes et des problèmes s'accompagne généralement d'une réflexion sur des solutions possibles. Il convient cependant de rester modeste et de démarrer la collaboration avec l'OPR avec un programme de travail limité tant par son contenu que dans sa durée (6 à 12 mois).

Cette prudence initiale doit être justifiée (« Commençons petit et nous verrons ensuite si nous voulons aller plus loin ensemble... ») et débattue avec les responsables de l'OPR.

Le contenu du premier programme de travail doit être négocié avec l'OPR et s'appuyer sur des éléments de diagnostic et des priorités partagées par les responsables de l'OPR et l'intervenant extérieur. Son contenu doit être cohérent avec sa durée limitée. Les modalités de réalisation du programme à court terme doivent être précisées, négociées et faire l'objet d'un contrat. C'est là un impératif, car il s'agit d'un programme test où la nature des relations établies entre l'OPR et l'agent extérieur

comptera autant que le contenu des actions réalisées. À cet effet, il importe qu'une attention particulière soit apportée :

- > à l'identification détaillée des tâches qu'implique la réalisation du programme ;
- > à la répartition précise de ces tâches entre l'OPR et l'intervenant extérieur ;
- > à la réflexion conjointe sur la façon dont l'OPR va assurer les tâches qui lui reviennent (qui, va faire quoi, comment, avec quelles ressources ?) et sur les conditions nécessaires à l'exécution de ces tâches (formations complémentaires, etc.) ;
- > à la définition précise des critères et des modalités de suivi et d'évaluation.

Les conclusions de cette phase de réflexion commune et de négociation doivent être formalisées par écrit, ne pas se limiter pas aux aspects opérationnels du contrat mais relater plus largement l'analyse commune aux deux parties. Si, par exemple, des incertitudes existent sur la capacité d'une partie à remplir ces engagements, il est souhaitable de les expliciter.

● **Mettre en œuvre le premier programme et approfondir le diagnostic**

Au cours de cette étape, les premiers engagements pris sont soumis à l'épreuve des faits. La priorité doit être accordée à la réalisation des actions prévues et au suivi de ces actions. Des ajustements sont toujours nécessaires en cours d'exécution. Ils doivent être décidés de façon concertée avec les responsables de l'OPR, en se gardant de toute attitude tatillonne : l'objectif est de parvenir à des résultats positifs collectivement, sans se substituer à l'OPR, en gardant la souplesse indispensable pour faire face aux inévitables imprévus.

La réalisation du premier programme de collaboration est une occasion privilégiée d'approfondissement du diagnostic initial. Les agents doivent garder en éveil leur capacité d'observation, noter et classer leurs remarques au fur et à mesure. En outre, des enquêtes complémentaires peuvent s'articuler sur les actions réalisées : elles doivent alors être décidées en concertation avec les responsables de l'organisation.

● **L'évaluation**

L'évaluation du déroulement et des résultats du premier programme de travail est un moment très important pour la suite de la collaboration : il convient donc d'y consacrer du temps et d'en faire l'occasion d'un débat ouvert, rigoureux et prospectif.

La démarche d'évaluation doit être conforme aux modalités établies contractuellement au départ. Dans la plupart des cas, elle peut suivre le schéma suivant :

- > la mise en évidence des éventuels écarts entre prévisions et réalisations, effectuée sous forme de tableau avec les responsables de l'organisation : cette appréciation doit concerner les actions programmées et réalisées, les moyens prévus et effectivement mobilisés, les résultats attendus et obtenus. La réalisation conjointe de ce tableau est importante car l'analyse des causes des écarts doit reposer sur un constat partagé ;
- > l'analyse des facteurs expliquant les écarts constatés : où sont apparues les défaillances ? Pourquoi ? Cette analyse doit être effectuée avec les responsables des organisations. Elle doit bannir les critiques personnalisées, les autojustifications, d'où qu'elles viennent. L'analyse doit être située dans une optique constructive : comment éviter que cela se reproduise ?

Ce premier travail gagne à être ensuite complété par une évaluation avec les adhérents et les organisations de base.

● **La définition d'un nouveau programme de travail et sa contractualisation**

Les résultats de ce premier programme à court terme, le degré de confiance qu'il aura permis d'établir et la nature de la demande de l'organisation vont influencer la suite de la collaboration, qui peut alors se fixer des objectifs plus ou moins ambitieux.

● **Orientations à court ou à long terme**

Après évaluation de la première phase de collaboration, deux options peuvent être envisagées :

- > la définition d'un deuxième programme à court terme. On utilisera alors la démarche proposée plus haut et celle-ci pourra déboucher sur un programme de collaboration élargi ou plus limité. La réduction de l'ampleur d'un programme n'est pas forcément un signe de recul dans la collaboration. Si la décision est prise de façon négociée (et donc argumentée), elle peut être la preuve de la maturité des partenaires.
- > la définition d'orientations stratégiques de long terme et d'un programme de travail à moyen terme. Elle ne peut avoir lieu que s'il existe un réel climat de confiance entre les parties, ce qui est parfois incertain après quelques mois ou un an de collaboration. Ce travail marque en effet un changement de nature dans la collaboration et exige un investissement important pour les deux parties et notamment pour l'organisation paysanne.

● **La définition d'un projet stratégique**

La définition d'un projet stratégique suppose en effet que l'OPR apporte des réponses aux grandes questions suivantes :

- > où en sommes-nous ?
- > où voulons-nous aller dans les dix ans qui viennent ?
- > quelles étapes pouvons-nous nous fixer ?
- > quelles collaborations, quelles ressources devons-nous mobiliser ?

Les réponses à ces questions, supposent de la part de l'organisation :

- > une analyse approfondie de son environnement économique, politique et institutionnel ;
- > une analyse précise des situations vécues par ses adhérents et de leur diversité ;
- > l'identification des contraintes qui pèsent sur l'organisation et des opportunités qui s'offrent à elle ;
- > des choix économiques, techniques, sociopolitiques, environnementaux, qui orientent les programmes d'action et qui doivent être cohérents entre eux ;
- > des négociations avec les différents acteurs concernés par la mise en oeuvre des choix et la construction de compromis institutionnalisés ;
- > l'identification des ressources nécessaires et des conditions de leur mobilisation ;
- > une rigueur dans la mise en oeuvre des orientations décidées (ce qui ne se confond pas avec une rigidité bureaucratique).

L'élaboration par une OPR de son projet stratégique demande du temps et la participation large des adhérents. Elle doit donc combiner réflexion prospective et action immédiate. Dans la plupart des cas, il s'agit d'une construction progressive qui peut s'étaler sur plusieurs années. Dans tous les cas, il revient à l'organisation paysanne (et à elle seule) de choisir les appuis dont elle souhaite bénéficier en matière de planification stratégique.

● **La mise en œuvre du programme d'action et son évaluation périodique**

Quelle que soit la perspective d'une démarche de planification/programmation conjointe, mieux vaut l'articuler progressivement selon différentes échelles de temps (le court, le moyen et le long terme). Cependant, pour être efficace, un plan d'action à moyen terme doit se traduire dans des programmations sur des périodes plus courtes qui permettent de structurer précisément les actions menées et d'en évaluer les résultats. Cette programmation à court terme doit être la plus cohérente possible avec les cycles des activités concernées (l'année calendaire ne correspond pas au rythme des nombreuses activités économiques).

La planification à moyen terme doit rester très souple, l'évaluation des actions mises en œuvre à court terme peut être un moyen d'élargir la collaboration prévue avec une OPR. L'identification de facteurs de blocage peut appeler de nouvelles actions spécifiques.

● **Une démarche à adapter au cas par cas**

La traduction du schéma général qui vient d'être présenté dans une démarche pratique de collaboration avec les OPR est toujours fonction des situations particulières. On peut illustrer ce propos par les quelques exemples suivants :

● **Programmes d'appui aux organisations paysannes**

● **L'appui à des groupements de bases «isolés»**

Quand l'appui s'adresse à des groupements de base isolés, la phase de diagnostic doit être rapide et «allégée». L'accent doit être mis sur le renforcement des activités du groupement par des apports d'informations, des formations, un conseil technique et économique, ou par des appuis matériels ponctuels. Il convient également de favoriser rapidement des échanges avec d'autres groupements ayant des caractéristiques et des activités semblables, etc. En effet, la capacité d'une organisation infra-villageoise à résoudre seule les problèmes auxquels elle est confrontée (approvisionnement, commercialisation, etc.) est souvent limitée. Il ne s'agit pas cependant de stimuler à tout prix le regroupement des organisations micro-locales, mais de mettre en évidence l'intérêt d'échanges, d'actions communes (accès à l'information, formation, etc.).

● **La réponse à des demandes d'appui ponctuel et précis**

Lorsqu'une organisation paysanne demande un appui ponctuel dans un domaine précis, le diagnostic global de l'organisation ne doit pas constituer un préalable. Le diagnostic reste nécessaire mais il doit être limité au secteur concerné par la demande. La collaboration pourra ensuite s'élargir, éventuellement, en fonction de l'intérêt que l'OPR y trouvera.

Certaines OPR développent parfois des stratégies de diversification de leurs collaborations, ce qui leur permet de prévenir ou de limiter leur dépendance vis-à-vis des institutions d'appui. Ce choix doit être respecté, ce qui n'exclut pas de débattre avec l'OPR sur les complémentarités possibles entre les différentes collaborations qui s'offrent à elle.

De façon générale, aucun intervenant extérieur ne peut prétendre à l'exclusivité en matière de collaboration avec une OPR. Les agents de développement ont parfois des difficultés à l'admettre. Ils oublient alors que l'engagement de leur institution auprès d'une OPR ne couvre pas forcément tous ses champs d'activité et qu'il n'est pas éternel. Même si certaines OPR utilisent l'argument (légitime) de leur souveraineté pour bénéficier d'appuis redondants, il ne faut pas oublier que l'efficacité d'un programme d'appui aux OPR se mesure aussi à sa capacité à favoriser des relations entre celles-ci et les autres acteurs économiques et institutionnels.

● **La collaboration entre les organisations paysannes et des programmes ciblés**

● ***L'organisation ou la restructuration d'une filière***⁴

Suite au désengagement de l'Etat, certains projets ont pour objectif de promouvoir de nouvelles formes de coordination entre les différents acteurs d'une filière. Ils visent, par exemple, à mettre en place ou à rénover des contrats plans (la filière coton au Mali), des interprofessions (café et cacao au Cameroun) ou des cadres sectoriels de concertation très divers.

Comme les producteurs occupent une place centrale au sein de ces filières, ces projets portent une attention particulière aux organisations qui représentent les producteurs dans les concertations et les négociations avec les autres acteurs de la filière. Ces organisations doivent veiller au respect des engagements pris au nom de leurs adhérents. La démarche de collaboration avec les OPR devrait notamment viser à réduire les asymétries qui existent entre ces organisations et les autres acteurs de la filière (en matière d'information, de diagnostic, d'élaboration de propositions, de négociation, etc.) et mettre l'accent sur les aspects suivants :

- > le diagnostic de la filière ;
- > la définition d'un programme d'appui à court terme et sa contractualisation ;
- > l'identification progressive d'axes de travail à moyen terme.

Une approche sectorielle renforce l'efficacité des organisations filières, mais la simple juxtaposition d'approches sectorielles est insuffisante. Celles-ci gagnent à être complétées par des approches centrées sur des thèmes transversaux (crédit, formation, information) ou des approches plus territorialisées.

● ***Les programmes de développement local***

Ils s'efforcent en règle générale de promouvoir des formes de coordination entre les différents acteurs intervenant dans un territoire donné, dans le cadre notamment de la décentralisation administrative et de la mise en place des collectivités publiques locales. Ces programmes intègrent souvent trois dimensions : la gestion des ressources renouvelables, la promotion d'activités économiques, la mise en place d'infrastructures et le fonctionnement de services d'intérêt général.

⁴ Cf chapitre 222.

Les collectivités locales décentralisées sont de plus en plus souvent les interlocuteurs privilégiés de ces interventions. Cela oblige les OPR à se repositionner dans un contexte institutionnel nouveau. Ce qui ne va pas sans mal pour certaines d'entre elles, surtout lorsque nombre de leurs responsables sont devenus des élus locaux.

La démarche d'appui aux OPR, mise en oeuvre dans ce cas, peut notamment mettre l'accent sur les points suivants :

- > l'identification des OPR existant dans les territoires concernés et leur reconnaissance en tant qu'acteurs locaux (information, offres de participation, etc.) ;
- > la caractérisation (rapide) des OPR acceptant le principe d'une participation à un programme qui concerne théoriquement tous les acteurs locaux ;
- > l'identification (concertée avec elles) de leur contribution possible aux objectifs du programme et des conditions nécessaires pour qu'elles puissent apporter cette contribution ;
- > la participation des OPR aux cadres de concertation territoriaux où seront décidés les approches à mettre en oeuvre (planification locale), les programmes d'action ainsi que la répartition des tâches entre les acteurs ;
- > des appuis spécifiques pour permettre aux OPR d'assurer leurs engagements contractuels vis-à-vis des autres acteurs locaux. Ils peuvent prendre des formes très diverses (information, formation, appui matériel et financier, etc.) ;

L'évaluation des résultats de ces démarches d'appui devrait porter sur deux points : la réalisation du programme particulier auquel participe directement l'OPR et sa contribution au programme général de développement local, sa place et son rôle dans le cadre de concertation mis en place à l'échelle des territoires concernés.

● **Les programmes pour des catégories sociales ou socioprofessionnelles précises**

Ces programmes peuvent être ciblés sur des catégories sociales spécifiques («les pauvres», les femmes...) ou des secteurs d'activités particuliers (vulgarisation, petites entreprises, etc.). Ils sont souvent mis en oeuvre à l'initiative d'acteurs extérieurs et la collaboration avec les OPR existantes n'est pas acquise d'emblée.

- > Les initiateurs du projet peuvent préférer intervenir directement «à la base» et les OPR n'avoir ni la capacité ni la volonté de revendiquer leur participation ;
- > Elles peuvent être utilisées comme de simples «relais» d'actions décidées sans grande concertation avec elles, auxquelles elles adhèrent pour avoir accès à des ressources nouvelles. Le risque d'une instrumentalisation des OPR existe alors, les moyens accessibles par le biais du projet pouvant influencer fortement sur les objectifs de l'organisation ;
- > Les OPR peuvent aussi, heureusement, trouver un positionnement utile et original par rapport aux projets spécifiques qui sont promus de l'extérieur dans leur aire d'action. Des convergences peuvent être trouvées, qui justifient des collaborations allant de la «facilitation» à la maîtrise d'oeuvre déléguée.

Dans ce dernier cas, la démarche de collaboration peut mettre l'accent sur l'identification des OPR existant dans la zone, leur information large sur les objectifs du projet et la négociation de collaborations plus ou moins étendues et leur contractualisation.

QUELQUES AXES DE TRAVAIL POUR RENFORCER LES ORGANISATIONS

La collaboration avec une OPR et la construction progressive d'un partenariat durable supposent que soit prise en compte la situation toujours particulière dans laquelle se trouve l'organisation. La démarche adoptée doit par ailleurs être conçue et mise en œuvre comme un accompagnement. Il serait contradictoire de prétendre renforcer les capacités internes d'une organisation en lui refusant, au départ, le droit de se prononcer sur les objectifs, sur le contenu et les modalités de l'appui.

● ***Élargir l'accès à l'information***

Les responsables et les adhérents des OPR apprécient grandement toutes les actions qui facilitent et élargissent leur accès à l'information technique, économique, juridique, institutionnelle. L'information apportée doit être fiable, objective et alimenter la réflexion au sein de l'OPR. Elle doit être présentée sous des formes diversifiées, accessibles et attrayantes, ce qui suppose un investissement important dans le traitement des contenus et la production de supports adaptés.

Même si l'information concerne en premier lieu les responsables d'OPR, il est important qu'elle soit diffusée le plus largement possible. Le recours à des moyens de communication diversifiés s'avère bénéfique : réunions, plaquettes, affiches, livrets, radio, vidéo, etc.

L'accès des ruraux à certaines informations économiques (les comptes d'une filière), juridiques ou concernant la politique agricole peut être mal perçu par certains acteurs qui s'accommodaient fort bien d'un «partenariat» avec des producteurs peu ou mal informés. La prudence peut s'avérer nécessaire dans certains contextes : elle doit inviter à la vérification rigoureuse des informations transmises, à la réflexion, avec les destinataires, sur l'utilisation possible de l'information reçue, etc.

● ***Faciliter la communication au sein des organisations***

Dès qu'une OPR fédère plus d'une quinzaine d'organisations de base, elle est confrontée à des problèmes de communication interne. Ces problèmes s'amplifient au fur et à mesure que l'organisation se structure à différentes échelles géographiques, que son volume d'activité augmente et que ses domaines d'action se diversifient. Les défaillances du système de communication interne peuvent fragiliser l'organisation.

● ***Difficultés et enjeux de la communication interne***

La circulation de l'information est toujours difficile dans des organisations dont les adhérents, largement analphabètes, sont dispersés géographiquement, dans des zones où les infrastructures sont notoirement insuffisantes. Elle repose presque toujours sur les ressources propres de l'OPR et son contrôle au sein de l'organisation relève d'enjeux de pouvoir évidents, notamment pour ceux qui s'occupent des relations avec l'extérieur.

La qualité de la communication interne influe sur l'efficacité de l'organisation. La remontée des informations de la base vers le sommet est indispensable pour permettre l'ajustement permanent des objectifs et des programmes d'action de l'organisation en fonction de la situation (diversifiée et évolutive) de ses adhérents et de leurs attentes.

L'accès des adhérents à l'information est nécessaire à la cohésion des OPR, qu'elle concerne l'action des responsables, l'existence d'une contrainte nouvelle ou d'une opportunité, les décisions prises en leur nom, etc. La communication ne se limite pas à la circulation de l'information ; elle doit faciliter et alimenter des débats internes au sein de l'organisation, indispensables pour que les adhérents puissent s'approprier ses orientations, et en être partie prenante.

Une communication interne efficace ne transformera cependant pas tous les adhérents en « militants » de l'organisation. Elle peut accroître le nombre des membres actifs, favoriser l'identification d'enjeux communs, maintenir ou augmenter l'intérêt pour l'action collective. Elle ne pourra venir à bout, à elle seule, des opportunités qui existent dans toutes les organisations, ni de clivages sociaux ou interpersonnels qui s'expliquent par d'autres facteurs.

● Remarques méthodologiques

● *Les facteurs à prendre en compte*

La taille de l'organisation, sa structuration interne, la localisation de ses adhérents, la nature des activités menées, le degré de spécialisation ou de diversification, l'importance des relations avec l'extérieur, etc. sont autant de facteurs à prendre en compte pour définir un système de communication.

● *Définir des mécanismes de circulation de l'information*

Sans négliger les occasions qui peuvent toujours être valorisées ponctuellement, il est très aléatoire de ne compter que sur elles. Il est utile de définir, de façon négociée avec les différentes parties concernées, des mécanismes de circulation de l'information qui soient explicites, codifiés et qui puissent être évalués. Ces mécanismes peuvent être très divers. Ils répondent généralement à trois exigences :

- > des responsabilités et des tâches affectées nominativement : qui informe qui ? sur quel sujet ? ;
- > des messages qui laissent des traces : l'efficacité de la communication orale n'est plus à démontrer mais il peut être utile de la doubler par une trace écrite, en donnant par exemple un cahier de correspondance à chaque personne située dans la chaîne de transmission de l'information ;
- > des ressources spécifiques : les mécanismes définis doivent être assortis de ressources clairement identifiées (même si elles sont modestes). Dans le cas contraire, des « problèmes de moyens » apparaîtront inévitablement.

● *L'organisation et l'animation de la réflexion et du débat interne*

La création ou la restructuration d'une OPR est généralement l'occasion d'un débat interne ouvert et animé. Mais il arrive que le débat s'étiolle ensuite, jusqu'à ce que survienne une « crise » qui obligera à le réouvrir. Les indications suivantes peuvent contribuer à maintenir le débat nécessaire pour qu'une organisation conserve sa vitalité :

- > la tenue des assemblées générales ordinaires prévues par les statuts ;
- > la participation des adhérents au processus de programmation des actions et d'évaluation ; elle est souvent facilitée par l'organisation d'une réflexion par secteurs d'activités, et peut être l'occasion d'apports d'informations ;

- > l'organisation de consultations particulières peut s'avérer nécessaire en cas de changement important dans le contexte économique et institutionnel ;
- > la pratique d'une évaluation collective approfondie (tous les trois ou quatre ans) s'est avérée très efficace dans certaines organisations ; elle est le moyen de faire un bilan des acquis, d'ouvrir des perspectives à moyen terme, de revoir le fonctionnement interne de l'organisation.

● **Le dispositif interne d'observation**

Il serait sans doute fort utile, pour les organisations fédératives de niveau régional et national, de mettre en place un dispositif permettant de suivre un échantillon d'exploitations agricoles afin de connaître précisément la situation des différents types de producteurs, l'impact des décisions macroéconomiques, les évolutions qui s'opèrent sur le terrain, au plan technique, en matière de choix de production et d'activités, de revenus, etc.

La mise en place d'un «observatoire» demande à l'évidence des appuis méthodologiques extérieurs : définition de l'échantillon, des indicateurs, traitement et diffusion des résultats, etc.

● **La formation des cadres intermédiaires et des responsables des organisations**

La circulation de l'information ou l'animation d'un débat interne supposent des intermédiaires entre les responsables et leur base. Ceux-ci doivent être précisément identifiés et formés. En outre, il est important que les responsables rencontrent directement les adhérents de base de façon régulière.

En s'améliorant, la communication interne accroît la participation des adhérents, leur capacité de mobilisation, mais aussi la critique et la contestation. Ces différents effets sont inévitablement liés et il est sans doute important d'aider les responsables à les accepter.

● **L'appui à la gestion**

La gestion matérielle et financière de certaines OPR est marquée par une relative opacité. Le manque de transparence alimente nombre de suspicions (souvent injustifiées) à l'intérieur de l'organisation et à l'extérieur.

Ce manque de transparence résulte souvent de la conjugaison de facteurs techniques (l'organisation ne dispose pas d'outils de gestion adaptés ni de compétences internes suffisantes), et de facteurs politiques : les responsables hésitent parfois à divulguer la nature (ou le montant) des ressources externes obtenues, craignant de susciter des demandes qui ne pourront pas être satisfaites. La gestion demeure, par ailleurs, au cœur des enjeux de pouvoir.

La «formation à la gestion» est donc une condition nécessaire mais non suffisante pour changer les pratiques en la matière.

● **Indications méthodologiques**

L'élaboration d'outils comptables ne doit pas se faire indépendamment d'une réflexion sur l'organisation comptable (Qui doit gérer quoi ? Quel doit être le niveau de décentralisation de la gestion ?). Cette organisation est éminemment politique.

Elle doit être cohérente avec l'organisation fonctionnelle et devrait donc être réfléchie avec l'ensemble des responsables de l'OPR. Cette réflexion devrait logiquement s'accompagner de la définition de mécanismes pour que l'organisation puisse «rendre des comptes». Il est important que ces mécanismes soient définis de façon concertée et que soient notamment précisés les points suivants : qui doit rendre compte, à qui, de quoi, quand, comment? Le contenu de la formation à la gestion devrait se déduire de ces différentes décisions et non l'inverse.

L'appui à la gestion et le contrôle gagnent dans certains cas à être séparés ; si l'appui est en effet la suite logique de la formation, le contrôle inclut, pour sa part, une dimension de sanction (positive et négative) et il peut même être utile de l'externaliser (certification des comptes).

La rigueur de la gestion est une condition de la crédibilité des OPR. Elle est un impératif pour des OPR qui prétendent assumer des responsabilités croissantes. Il convient cependant d'éviter d'imposer de l'extérieur des normes de gestion dont l'utilité n'est pas ressentie. Il s'agit plutôt de créer des conditions favorables à une adhésion volontaire des organisations à de telles démarches.

Enfin, au-delà de la transparence des comptes, il est important de mettre en évidence l'utilisation qui peut être faite de résultats comptables pour «gérer» les activités, c'est-à-dire pour évaluer les résultats des différentes activités, les transferts qui ont lieu d'un secteur à un autre, pour faire des choix, etc.

● ***L'appui au fonctionnement interne des organisations paysannes***

Certaines organisations se caractérisent par un fonctionnement relativement peu démocratique, surtout si le degré de démocratie est apprécié à partir des normes idéales d'une participation directe de tous les adhérents à la plupart des décisions. Les asymétries au sein des organisations sont en effet inévitables, en particulier parce que les OPR ne sont pas en dehors du monde. Elles sont insérées dans un tissu social local où prévalent souvent le manque d'équité dans l'accès aux ressources, les inégalités sociales, les disparités économiques... Elles sont aussi insérées dans des sociétés globales où se mettent laborieusement en place des démocraties souvent encore formelles, parfois restreintes.

Il convient donc de se départir de schémas démocratiques théoriques dans l'appréciation du fonctionnement interne d'une OPR. Il n'en reste pas moins vrai qu'une organisation tire en grande partie sa force de la participation active de ses membres, de leur adhésion à des objectifs communs mobilisateurs, à des programmes d'action dont ils se sentent partie prenante. Ainsi, il n'est pas rare que la marginalisation de certaines catégories d'adhérents dans la prise de décisions se traduise par leur désaffection, les rende réceptifs à des tentatives de manipulation, affaiblissant de ce fait la capacité de négociation et d'action collective.

Les indications ci-après peuvent aider à l'élargissement de la participation des adhérents à la vie de l'organisation.

● **Définir et respecter des modalités de fonctionnement**

La mise en cohérence des textes (statuts, règlements intérieurs) et des pratiques constitue un premier pas. Cela suppose :

- > de définir, de façon négociée, des mécanismes de fonctionnement explicites (modalités d'adhésion, de cotisation, de désignation des responsables, droits et devoirs des différents membres), aux différents niveaux auxquels se structure l'organisation ainsi que les modalités d'articulation entre les niveaux. Dans ce travail, il ne s'agit pas de pousser à la «surenchère démocratique» mais de définir des règles applicables ;
- > de formaliser les règles dans des textes simples, de les soumettre aux instances compétentes (AG) et de les diffuser largement ;
- > d'investir le maximum d'efforts dans le respect des règles ainsi définies, quitte à les modifier, si dans la pratique elles s'avèrent impossibles à appliquer.

À ce stade, il paraît utile d'éviter le plus possible le formalisme et les faux-semblants et de mettre l'accent sur le fait que la règle définie collectivement doit être appliquée impérativement.

● **Renforcer la capacité de prise de parole des adhérents**

Des disparités importantes existent entre les adhérents et les responsables, ces derniers disposant d'une expérience, d'une information, d'une formation souvent supérieures à la moyenne. L'exercice des responsabilités accroît en outre l'écart entre les producteurs et les responsables des OPR. Ces disparités ne peuvent pas disparaître du jour au lendemain. Certaines mesures peuvent cependant contribuer à les réduire, tels que la décentralisation des fonctions et des tâches, un accès accru des adhérents à l'information et à la formation, l'organisation des débats internes... Il s'agit, en fait, progressivement, de permettre aux adhérents de base de prendre plus d'initiatives et de responsabilités, ce qui a aussi pour corollaire qu'ils rendent compte à des responsables, en droit alors d'être aussi plus exigeants.

● **Prêter attention aux catégories les plus marginalisées**

Des inégalités diverses existent aussi entre les différentes catégories d'adhérents d'une organisation. Elles peuvent être fonction du sexe, de l'âge, du statut socioprofessionnel, etc. Quelles que soient les bonnes intentions déclarées, certaines catégories d'adhérents influent peu sur la prise de décision et leurs intérêts peuvent être faiblement représentés aux niveaux géographiques supérieurs d'une organisation fédérative. Cette situation ne peut changer que progressivement, au fur et à mesure que ce type d'adhérents acquiert la capacité à prendre la parole et à se faire entendre. Encore faut-il leur donner les moyens d'acquérir cette capacité ! Les structures d'appui peuvent y contribuer de multiples manières. D'abord en leur prêtant attention, en les écoutant puis en proposant des actions et des formations spécifiques, en attirant également l'attention des responsables sur l'importance de ces catégories.

● **L'appui aux organisations pour négocier avec les acteurs extérieurs**

Dans de nombreux pays, les réformes liées à la libéralisation de l'économie, d'une part, et à la décentralisation, d'autre part, ont profondément modifié l'environnement

économique et institutionnel des OPR. Leurs interlocuteurs se sont multipliés. Les relations entre les opérateurs économiques ou les acteurs du développement local ne sont plus régies par l'Etat. Le contrat se substitue souvent au règlement administratif, et la concertation aux décisions autoritaires.

Les OPR sont de plus en plus souvent invitées à participer à des concertations plus ou moins formalisées, qui regroupent différents acteurs pour définir de nouvelles règles du jeu. Il s'agit de négociations commerciales, de cadres de concertation sectoriels autour d'une filière, ou territoriaux à l'échelon local ou régional, ou bien encore de mécanismes qui permettent la participation des OPR à la définition de politiques publiques.

Ces concertations ou ces négociations se déroulent parfois dans des conditions peu favorables aux organisations qui ne sont pas toujours associées à leur préparation ou qui n'ont pas accès aux informations nécessaires. Les OPR ont donc de plus en plus souvent besoin d'appuis pour améliorer leurs capacités de négociation. Elles doivent impérativement choisir elles-mêmes ceux dont elles ont besoin au cas par cas. Ces appuis peuvent porter sur :

- > l'identification par l'OPR des domaines/secteurs/sujets pouvant faire l'objet de négociations avec d'autres acteurs ;
- > l'identification des acteurs susceptibles d'être concernés par la négociation et la caractérisation de leurs stratégies (analyses développées, objectifs, propositions) etc. ;
- > la formulation par l'OPR de propositions argumentées (ce qui suppose une appréhension correcte du contexte, de la situation des producteurs, de leurs attentes, des engagements qu'ils sont susceptibles de prendre et de tenir, etc.) et donc une réelle participation des adhérents à l'élaboration de la proposition ;
- > la participation des OPR à la définition du cadre et des modalités de négociation ;
- > l'identification d'alliances possibles.

Il est important que les résultats des négociations soient portés à la connaissance des adhérents et soient, si nécessaire, soumis à leur approbation. Cela nécessite alors parfois, de la part des responsables de l'organisation, des négociations internes pour que le compromis négocié avec les acteurs extérieurs soit compris, accepté et les engagements pris respectés.

La négociation de contrats, quelles que soient la nature, la taille et l'importance de l'enjeu, ne peut être réalisée que par les acteurs économiques et institutionnels concernés. Une structure d'appui aux OPR ne peut donc négocier à leur place. Elle peut apporter un appui (méthodologique, en information, en formation) aux OPR qui le demandent pour analyser le contexte et les marges de manœuvre, pour éclairer leurs choix... Mais ces analyses et ces choix sont de la seule responsabilité des OPR. En termes d'efficacité à moyen terme et de renforcement de leurs capacités internes, un « mauvais » accord négocié par les OPR peut être préférable à un accord plus avantageux à court terme mais dans lequel elles n'ont joué qu'un rôle de deuxième plan.

● La formation

La formation des responsables et des adhérents des OPR est une priorité sans cesse répétée, sans que les moyens mobilisés soient toujours à la hauteur des ambitions

affichées. Si l'élargissement de l'accès des producteurs ruraux à des formations de qualité et la diversification de l'offre constituent d'impératives nécessités, il convient cependant d'être conscient que la formation n'est pas la réponse à toutes les difficultés que rencontrent les OPR ni à tous les dysfonctionnements qui les affectent.

Les domaines de formation

L'alphabétisation et la post-alphabétisation

Elle demeure une priorité dans beaucoup d'endroits, car c'est un puissant moyen d'émancipation pour la population concernée. Il est essentiel que l'alphabétisation s'inscrive dans un projet de formation plus global et que l'organisation valorise, dans son fonctionnement, les acquis des néo-alphabètes.

La formation technique

Elle garde toute son actualité qu'il s'agisse d'une formation agricole proprement dite (qu'aucune vulgarisation/conseil ne peut remplacer) ou de l'acquisition de compétences très diverses induites par l'acquisition de certains équipements (entretien, maintenance, réparations), la diversification des activités en milieu rural, etc.

La formation à la gestion

Elle est, elle aussi, indispensable, de l'échelon micro-local (exploitations agricoles, groupements de base) aux échelons supérieurs auxquels se structurent les organisations fédératives. Elle ne peut se réduire à une formation comptable plus ou moins poussée. L'acquisition d'instruments comptables est certes indispensable mais elle est facilitée quand elle s'inscrit dans un apprentissage permettant l'évaluation et l'analyse des activités menées, des facteurs à prendre en compte pour faire des choix, etc.

L'analyse de l'environnement des exploitations agricoles

Encore peu abordés, ces domaines de formation sont importants dans une période marquée par de profondes évolutions du contexte économique et institutionnel de l'agriculture. Ils n'ont rien d'abstrait ni de théorique dès lors que leur étude articule étroitement les problèmes vécus à l'échelon local et les facteurs qui les expliquent (réformes économiques, nouvelles politiques agricoles, etc.).

La formation méthodologique

Elle peut concerner des secteurs très divers (programmation, évaluation, planification stratégique, mise en place d'un système de communication interne, d'approvisionnement, etc.). Il est évident qu'elle est plus efficace quand les apprentissages méthodologiques s'effectuent dans la pratique, à travers l'accompagnement d'une réflexion collective, ce qui n'exclut pas que les méthodes et outils forgés dans l'action soient progressivement explicités et systématisés.

● **Trois orientations de travail**

● ***La formation des responsables et des adhérents***

Une attention particulière doit être apportée aux trois points suivants :

- > une répartition équitable des ressources disponibles entre la formation des responsables et celle des adhérents (en prenant en compte les différentes catégories d'adhérents) ;
- > les articulations et les complémentarités entre les différents types de formations réalisées au sein d'une OPR ;
- > une information large sur les formations dont bénéficient les différents responsables et membres. En effet, si l'OPR consent des investissements pour la formation de certaines catégories de membres (responsables ou non), les autres catégories sont en droit d'en attendre un retour.

● **Les formations courtes et longues**

Nombre d'apprentissages nécessitent un investissement dans la durée et la prédominance des formations très courtes s'explique plus par la modicité des ressources disponibles que par le manque de disponibilité des producteurs, si souvent invoqué. La formation par alternance est une solution souvent proposée et elle peut se révéler très efficace dès lors qu'elle est appliquée avec rigueur et que les producteurs y adhèrent.

● **La formation et l'action**

L'articulation explicite des formations sur les programmes d'action de l'OPR constitue un facteur important pour la motivation des producteurs et pour l'efficacité opérationnelle des formations mises en oeuvre. On peut faire trois remarques à ce sujet :

- > la réflexion sur les finalités et les objectifs en termes d'action (au sens large) doit précéder la réflexion sur la formation ;
- > la recherche de l'articulation entre le vécu des producteurs, les objectifs opérationnels visés et les apports de la formation devrait être permanente ;
- > les formateurs doivent mettre les apprenants en position de responsabilité pendant leur formation. On voit mal comment l'apprentissage de l'autonomie et de la responsabilité pourrait s'accommoder d'une relation pédagogique autoritaire.

BIEN SE COMPRENDRE POUR CHEMINER ENSEMBLE

Les OPR ne correspondent que très imparfaitement aux images projetées sur elles. De façon toujours spécifique, elles sont le produit d'une histoire, de relations complexes entre certains acteurs de la société locale et des partenaires extérieurs, qui ont favorisé leur émergence ou leur consolidation. Structures d'interface (mais non exclusives) entre les sociétés locales et leur environnement, elles construisent leur identité et leurs modes d'action à partir de références internes aux sociétés locales et de références externes, en valorisant les opportunités qui leur sont offertes par l'environnement, en composant avec les différentes formes de pouvoir (social, économique, institutionnel, politique).

Dans ce processus de construction, largement inachevé et parfois seulement transitoire, les OPR sollicitent des collaborations extérieures ou réagissent à des offres qui leur sont faites par des acteurs très variés. Ces collaborations ne vont pas de soi. En effet, si les organisations ne correspondent qu'imparfaitement aux attentes des acteurs extérieurs, l'inverse est également vrai : il n'est pas rare que les acteurs extérieurs ne répondent que partiellement aux attentes des organisations. Les choix ou priorités de certains acteurs institutionnels, les conditionnalités qui accompagnent divers programmes d'appui, certaines procédures de programmation, de décaissement, les modalités de certaines évaluations, etc. sont inintelligibles pour les organisations et pour des agents de terrain qui peinent parfois à justifier des exigences qu'ils subissent eux aussi.

Ce double constat est constitutif de la relation initiale entre des acteurs différents il ne doit pas cependant conduire à de simples accommodements réciproques, encore moins à des complaisances vis-à-vis de comportements inadéquats, d'où qu'ils viennent. Il invite seulement à prendre conscience du fait qu'un réel partenariat se construit dans la durée. Il suppose une explicitation permanente des objectifs poursuivis, des analyses réalisées, des critères d'évaluation utilisés pour apprécier les résultats obtenus. La construction d'un partenariat avec les OPR implique aussi une attitude critique, qui s'appuie sur des faits et non sur des préjugés, et qui soit réciproque. C'est de cet apprentissage commun, qui ne va pas sans tensions, que peut naître la confiance qui permet aux partenaires d'approfondir leurs relations. Cela demande toujours du temps et de la persévérance, de part et d'autre.

Les filières agricoles et agroalimentaires

À partir des contributions de B. Faivre-Dupaigre (IRAM),
Y. Lassica, L. Liagre (IRAM) et D. Neu (GRET)¹

La notion de filière prend en compte les modes de coordination des échanges, les formes d'organisation des marchés et les rapports de force entre groupes d'acteurs. Cette approche économique et socio-institutionnelle se combine avec un diagnostic technique. L'approche filière constitue un élément clé des processus d'intensification agricole : elle permet de vérifier que les propositions d'amélioration technique répondent effectivement à une demande solvable des marchés. L'agronome utilise ce type d'approche pour vérifier la pertinence de diverses propositions : nouvelles productions, techniques plus intensives, amélioration du revenu des paysans par une meilleure maîtrise de la mise en marché, etc. Les analyses de filière constituent un outil de travail essentiel pour éviter l'apparition de certaines situations encore trop fréquentes :

- > des greniers individuels pleins pendant plus d'une année car, suite à des efforts réalisés pour augmenter la production, les agriculteurs n'arrivent pas à la vendre à un prix couvrant au moins la rémunération des facteurs de production utilisés ;
- > des résultats de la recherche agronomique inutilisables parce que les innovations proposées sont techniquement efficaces, mais qu'elles correspondent à un renchérissement des productions qui ne peut être répercuté sur le marché ou qu'elles introduisent des espèces ou variétés pour lesquelles il n'existe pas de marché accessible aux producteurs ;
- > une amélioration qualitative de la production qui ne débouche sur aucune valorisation économique, car la chaîne complète allant du producteur au consommateur, indispensable pour valoriser cette amélioration, n'a pas été établie.

LA FILIÈRE, UN SYSTÈME AUX DIMENSIONS MULTIPLES

Une filière représente à la fois :

- > un ensemble d'acteurs économiques en interrelation : de l'agriculteur au consommateur en passant par de multiples niveaux intermédiaires ;
- > un ensemble de flux de produits, d'argent et d'informations ;
- > un ensemble de comptes d'agents économiques ;
- > un ensemble de processus techniques de production et transformation d'un produit ;
- > un ou des types d'organisation des marchés. Sans marché, il n'y a pas de filière.

¹ Ce chapitre est aussi composé de larges extraits de « *Filières agroalimentaires en Afrique : comment rendre le marché plus efficace ?* », étude coordonnée par M. GRIFFON (CIRAD), 2000, Ministère des Affaires étrangères, DGCI, Série rapports d'étude, Paris.

● Des acteurs aux préoccupations différentes

Une filière fonctionne comme un système, c'est-à-dire un ensemble d'acteurs et d'activités liés entre eux. Au sein d'une même filière, les questions se posent différemment pour chaque groupe d'acteurs. La filière coton d'un pays, par exemple, est composé d'un ensemble complexe : l'Etat, la (ou les) sociétés de commercialisation du coton fibre, les groupements de producteurs, des sociétés de filature et éventuellement de tissage, des huileries, les fabricants et revendeurs d'aliments du bétail qui utilisent ou revendent graines et tourteaux, etc. Ces différents acteurs se posent des questions de nature différente par rapport à la filière :

- > les préoccupations de l'Etat sont centrées autour de la valeur ajoutée créée par la filière au niveau national et sa répartition entre les différents acteurs ;
- > les sociétés de commercialisation sont essentiellement intéressées par l'évolution du marché mondial (quantités, prix) et par la politique fiscale de l'Etat ;
- > les groupements de producteurs cherchent à sécuriser les approvisionnements et la commercialisation de leur production, en défendant un partage de la valeur ajoutée qui ne les lèse pas.

● La diversité des filières

Les filières agricoles et agroalimentaires sont très variées, en termes de dimension, d'organisation et de complexité, comme des enjeux qu'elles posent pour le développement d'une zone, d'un pays ou d'une région.

En Afrique de l'Ouest côtière, le champ de l'économie agroalimentaire se compose² :

- des filières péri-urbaines (poulet, œufs, lait, petits élevages, horticulture) caractérisées par la coexistence d'une petite production liée à des filières courtes, des groupes coopératifs et des groupes industriels oligopolistiques (production et/ou distribution) ;
- des filières d'*hinterland* étendu pour les approvisionnements en ignames, tubercules, plantains et légumes semi-périssables, caractérisées par des circuits commerçants liés aux structures issues de conventions marchandes et domestiques ;
- des filières classiques d'approvisionnement en céréales et viande bovine et ovine caractérisées par des des conventions marchandes et domestiques, et quelques formes de ranchs privés liés à la grande distribution ;
- des périmètres industriels liés à des producteurs dépendants dans le cadre de pseudo contrats (palmier à huile, fruitiers, légumes d'exportation) ;
- des filières dominées par des exportateurs ou des firmes locales de transformation avec un marché libre : café, cacao, coton.

² Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique: comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

● **Les évolutions économiques des filières en Afrique³**

Des tendances lourdes transforment aujourd'hui la quasi-totalité des filières de produits agricoles et agroalimentaires des pays africains. Les acteurs et les conditions du jeu ont beaucoup changé. En Afrique de l'Ouest, le marché des grains est presque entièrement libéralisé. Le commerce privé assure le fonctionnement de l'ensemble des circuits. Le problème principal des agricultures africaines de zone sèche et de savane reste les fluctuations de production, les risques de gains trop faibles pour les producteurs, et de pénurie pour les consommateurs. La libéralisation n'a pas résolu ces problèmes.

Les grandes filières d'exportation ont été profondément transformées. Les exportateurs locaux qui étaient liés aux caisses de stabilisation sont maintenant indépendants, ou ont été rachetés par des firmes internationales de commerce ou de transformation, ou encore ont été marginalisés. Les producteurs et leurs organisations sont confrontés à des problèmes importants de risque et d'incertitude liés à l'écoulement des produits et aux prix.

La libéralisation économique semble se heurter à des problèmes d'ajustement : par exemple, les services d'approvisionnement en engrais et en produits sanitaires fonctionnent souvent mal car, une fois les services publics interrompus, le secteur privé a rarement été à même de prendre correctement en charge l'activité.

Pour les grandes filières d'exportation reviennent des problèmes qui étaient autrefois en partie résolus, comme l'irrégularité des revenus à cause des risques climatiques et des évolutions des prix sur le marché international. Ces problèmes aggravent les risques pour les producteurs et limitent la croissance.

De plus, les réformes n'ont pas réduit les monopoles locaux. Pour les grains comme pour les cultures d'exportation, les acheteurs ont souvent intérêt à se partager les zones de collecte.

ANALYSER LES FILIÈRES AGRICOLES ET AGROALIMENTAIRES

● **Plusieurs typologies de filières⁴**

Les typologies représentant la diversité des filières en Afrique sont différentes selon les critères privilégiés, comme l'illustrent les tableaux 1 et 2.

³ Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique: comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

⁴ *Idem*.

Tableau 1. Une typologie privilégiant le mode de régulation dominant de la filière

Mode dominant de régulation de la filière	Système de production	Mode de circulation	Mode d'utilisation	Espace	Temps	Acteurs dominants	Mode de coordination	Fonctions globales Objectifs
Domestique	Techniques traditionnelles Rapports sociaux codifiés (ex. lignages)	Prestation, redistribution (troc, don/contre don)	Signification symbolique des biens de subsistance (interdits, règles coutumières) Autoconsommation	Familial et local (villages, quartiers)	Temps de production incertain	Famille : aînés, notables, lignages Communautés	Règles codifiées <i>ex ante</i> . Coutumes, confiance Appareil de régulation (ex. stockages villageois)	Reproduction de l'énergie humaine Intergénération des unités familiales
Marchande	Éléments du système de production contrôlé par les producteurs directs (terre, travail technique)	Echange onéreux par multitude des opérations et acteurs. Rôle essentiel de la fonction d'intermédiation Circuits concurrentiels	Transformation de la marchandise alimentaire pour reproduire l'énergie humaine	Marchés locaux, régionaux et villes/campagnes (inter-africains)	Temps de production incertain Adaptation et mobilité vis-à-vis d'un temps non maîtrisé	Petits producteurs marchands intermédiaires Paysans Opérateurs privés	Prix sur les marchés officiels ou parallèles Concurrence sur les marchés localisés	Echange d'équivalent Accès à des revenus monétaires et aux marchés urbains
Étatique	Technique industrielle importée Salariat ou quasi-salariat Encadrement administratif	Circuits monopolistiques Relations contractuelles ou d'intégration Caisses de stabilisation Offices publics de commercialisation	Consommation alimentaire urbaine à moyens et hauts revenus (détour sur circuits parallèles) Exportation Industrie	Marchés urbains nationaux et internationaux	Planification à moyen et long terme dans un univers aléatoire interne et international Relations stabilisées	Sociétés d'Etat, firmes industrielles nationales Office de stabilisation Opérateurs de développement	Prix administrés Coordination <i>ex ante</i> par les réglementations	Devises, parafiscalité Sécurité alimentaire Substitution Importations exportations Mobilisation du surplus paysan Reproduction de l'appareil d'Etat
Capitaliste transnationale (agro-business)	Révolution technologique Complexes agro-industriels Rapport salarial Encadrement bancaire Innovation technique et apprentissage	Relations d'intégration inter-firmes, accords firmes/Etat concurrence oligopolistique sur les circuits internationaux (marchés à terme)	Industrialisation et services mondiaux	International et transnational	Maîtrise des aléas par le contrôle de l'information et les systèmes d'organisation Stratégies de moyen et long terme	Groupes multinationaux et Etats des pays industriels Macro-organisations	Marché international oligopolistique Relations d'intégration inter-firmes Accords firmes Etats – Relations de conflit/concours stratégiques de groupe	Valorisation, accumulation du capital, Régulation sociale par écoulement des surplus. Expansion des groupes multinationaux

À partir de « *Filières agroalimentaires en Afrique - comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

Tableau 2. Douze profils-type de filières agroalimentaires

Périsabilité	Type de marché	Concentration	Exemples de filières produits
Produits périssables	marché à longue distance	offre atomisée ou semi-atomisée – aval oligopole	banane dessert export – tomate industrielle – ananas export – mangue export – avocat export – fleurs export – petits fruits rouges export – haricot vert export
		« plantation » oligopole – aval oligopole	banane export – ananas export – palmier
	marché à moyenne ou courte distance : marché national et <i>hinterlands</i>	offre atomisée – nombreux intermédiaires – aval/détail atomisé	lait, fromages – viande fraîche igname et tubercules – plantain – légumes
Produits moyennement périssables	marché à longue distance	producteur-vendeur sur le marché	
		offre oligopole – circuit court vers supermarchés (avec ou sans intégration)	lait, produits laitiers – œufs – viande de ranch - volaille
	marché à courte distance péri-urbain	offre atomisée, mais en bassin de collecte organisé pour une industrie en oligopole	lait – œufs – canne à sucre – volaille – porcs pour viande (abattoir)
Produits non ou peu périssables	marché local à longue distance	offre atomisée – commerce concerté – détail atomisé	fromages secs – oignon – pomme de terre
		offre atomisée – nombreux réseaux de commerce – vente atomisée	produits laitiers – légumes – fruits – animaux vivants
	marché local et <i>hinterland</i>	offre atomisée – peu d'intermédiaires et vente atomisée	producteur – vendeur sur le marché
Produits non ou peu périssables	marché local à longue distance	offre atomisée – collecte pour industries en oligopole	coton – riz- maïs aliment et brasserie – soja – cacao – café – sésame – ricin – anacarde - arachide
		offre atomisée – nombreux intermédiaires et vente atomisée	niébé – mil – sorgho – maïs – tomate séchée – bétail sur pied puis boucherie
	marché local et <i>hinterland</i>	offre atomisée – nombreux intermédiaires et vente atomisée	arachide de circuit local – mil – sorgho – maïs – niébé-viande séchée – lait frais et caillé

À partir de « Filières agroalimentaires en Afrique : comment rendre le marché plus efficace ? », op. cité.

Le tableau 1, basé sur les analyses de Philippe Hugon, repose sur des critères fondés sur la diversité des modes de régulation des filières.

Cette typologie permet de cerner les systèmes économiques qui interviennent sur une filière. Mais pour analyser une filière, il faut affiner les critères. On utilise le plus souvent les critères suivants :

- > *la structure des échanges entre les acteurs de la filière* afin de repérer les concurrences et les niveaux de concentration à l'amont et à l'aval de la filière ;
- > *l'échelle géographique des échanges, du local à l'international*, qui donne une idée de l'importance de la filière ;
- > *le degré plus ou moins important de périssabilité des produits* ; en effet un produit périssable nécessite une coordination des échanges, ce qui donne une configuration particulière à la filière.

Ces trois critères permettent de définir douze profils-types (cf. tableau 2).

D'autres critères, utilisés moins souvent, sont aussi importants pour expliquer les formes des relations entre agents économiques d'un même circuit :

- > l'aspect complet ou incomplet de l'économie de marché ;
- > la volatilité des prix ;
- > le niveau de sécurité des transactions.

L'exemple des circuits céréaliers en Afrique sèche⁵

Les filières céréalières destinées à l'alimentation humaine ont souvent la même forme : production atomisée, réseaux de commerçants et ensemble de détaillants atomisés.

Dans les zones sahéliennes isolées où l'incertitude climatique est grande et les marchés segmentés géographiquement, les commerçants se trouvent dans une position de quasi-monopole de fait, car aucun n'a intérêt à faire concurrence aux autres dans des zones où les coûts de transport sont élevés. Cela leur donne un pouvoir de négociation important. Ce pouvoir devient encore plus fort pendant les périodes de cours bas ou de faible production car les producteurs sont alors demandeurs de crédit. Là où l'état de droit est dégradé et l'insécurité très forte, les transactions se font sous la contrainte.

Dans les zones moins éloignées des villes, là où les communications et les transports sont plus aisés et où l'accès aux marchés financiers est plus facile, la concurrence est plus effective, l'information circule mieux et les pouvoirs de marché sont moins inégaux. En cas de volatilité des cours, les comportements économiques opportunistes et d'iniquité sont également davantage exposés à la critique sociale.

● **La démarche et les étapes d'un diagnostic de filière**

Un diagnostic de filière s'opère sous trois angles :

- > *la structure* de la filière ;
- > *son fonctionnement* : organisation et circuits ;
- > *ses résultats économiques* : les coûts, les prix d'achat et de vente, les quantités achetées et vendues, les quantités disponibles.

⁵ Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique: comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

Le diagnostic permet d'analyser la performance économique, organisationnelle, agronomique, technique, nutritionnelle et environnementale de la filière, sur le plan de la production, la transformation, la commercialisation et aussi la consommation. Il prend en compte l'impact des politiques nationales sur la filière. L'analyse doit dégager ses performances, ses contraintes et ses opportunités de développement sur le plan technique, institutionnel et économique.

Tableau 3. Diagnostic rapide de la filière haricot vert au Burkina Faso

Domaines	Contraintes	Atouts
Culture	Non-respect des plannings prévus en début de campagne. De fortes disparités dans les résultats techniques (rendements exportés). Forte concurrence des autres pays producteurs (Kenya, Maroc).	Climat propice à cette production de contre-saison. Compétence dans la mise en place des cultures (travail du sol, semis, irrigation, protection sanitaire).
Récolte	Manque de maîtrise dans la phase récolte (calibre, qualité).	Main d'œuvre disponible.
Conditionnement et stockage	Mauvaises conditions de transport entre les périmètres et l'aéroport. Infrastructures de niveau moyen (chambre froide)	L'ensemble des marchandises est vérifié avant l'embarquement.
Transports intérieurs et mise à FOB	Sortie des marchandises trop longtemps avant l'embarquement. Infrastructures routières de mauvaise qualité (pistes en mauvais état).	Les entrepôts de stockage sont situés en périphérie de l'aéroport.
Transports aériens	Coût du fret élevé sur vols cargos supplémentaires.	Contrats entre l'APEFEL ¹ et les compagnies
Organisation et fonctionnement de la filière	Dépendance financière des exportateurs vis-à-vis des importateurs. Dépendance financière des producteurs vis-à-vis des exportateurs. Manque de transparence dans les prix des intrants quand ceux-ci sont avancés aux producteurs.	Régularité des vols. Une intégration des producteurs. Un cahier des charges qualité.

¹ APEFEL = Association des producteurs et des exportateurs de fruits et légumes.

À partir de « Filières agroalimentaires en Afrique: comment rendre le marché plus efficace ? », op. cité.

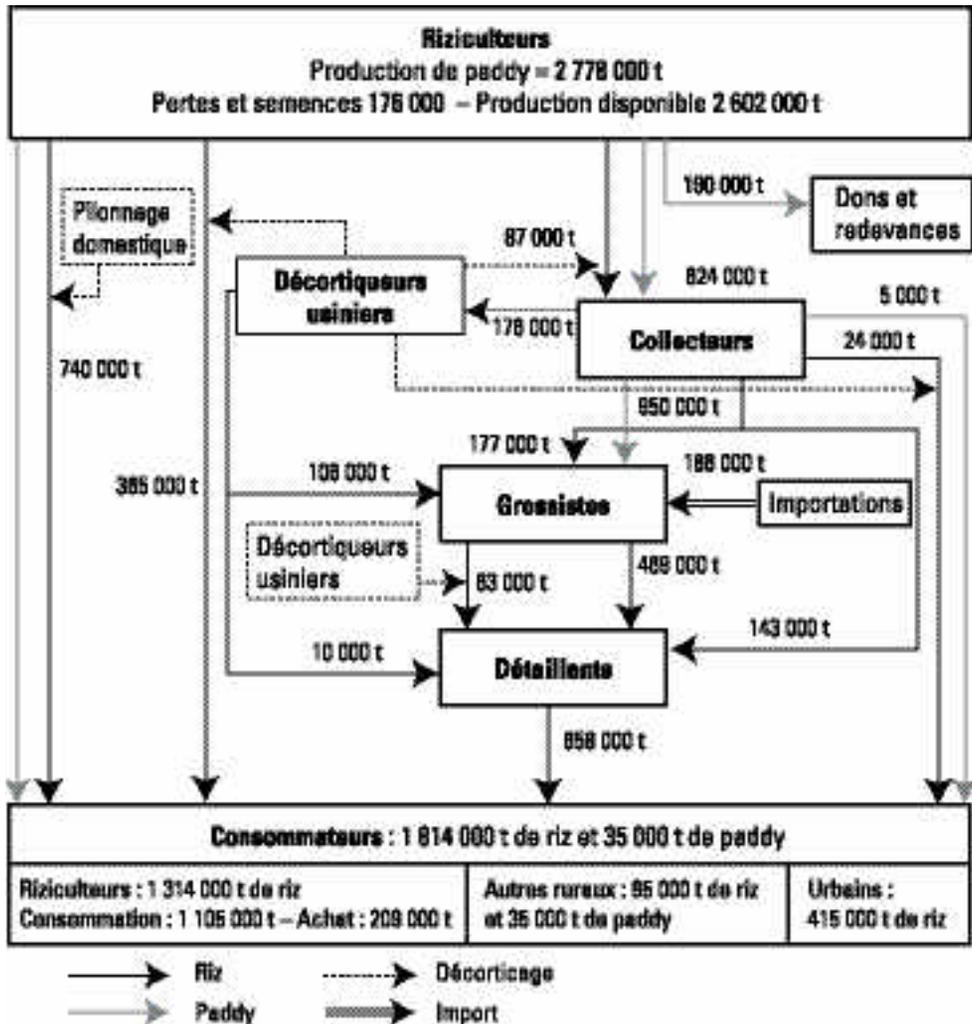
● Identifier la structure de la filière

Il s'agit d'une description technique et économique. Elle peut être présentée sous forme d'un graphe de filière, qui permet de visualiser :

- > la succession des états du produit ;
- > les différents opérateurs ;
- > les flux entrants et sortants de produits et éventuellement les valeurs monétaires correspondantes.

Volumes et prix unitaires étant déterminés pour chaque flux, le graphe de filière peut être complété de manière à faire apparaître sur le schéma les composantes de la valeur échangée lors de chaque transaction entre agents. La décomposition en prix unitaires et volumes n'est toutefois pas indispensable pour toutes les analyses de filière.

Figure 1: Graphe de la filière riz à Madagascar en 1999



Source : M.-H. DABAT, UPDR, *Diagnostic et perspectives de la filière riz à Madagascar*, Document CIRAD-FAO, octobre 2000.

● Caractériser le fonctionnement de la filière

L'analyse du fonctionnement de la filière répond aux questions suivantes :

- > comment se réalise la production ?
- > comment sont organisés les échanges : flux de produit, de monnaie, d'information, fonctionnement des marchés ?
- > comment se fixent les prix ?
- > quelles sont les relations entre acteurs, les rapports de force, les stratégies des différents groupes ?

● Repérer les dynamiques de moyen et long terme de la filière

Il s'agit ici d'identifier les éléments moteurs de l'évolution de la filière afin de dégager des perspectives. Voici une liste non exhaustive de facteurs d'évolution importants à identifier avec précision :

- > les progrès techniques dans et hors de la filière ;
- > les fluctuations et crises structurelles ou conjoncturelles ou cycliques ;
- > l'articulation des diverses formes de production ;
- > les processus d'évolution des échanges, des marchés et des activités économiques, aux niveaux local, national et international ;
- > les stratégies des acteurs et les synergies et contradictions ;
- > les marges de manœuvre des politiques nationales ou régionales et leurs orientations ;
- > les interactions entre filières liées.

● Identifier les mécanismes de régulation de la filière

L'évolution d'une filière est régulée par des mécanismes sociaux et des décisions politiques. Les rapports sociaux entre les différentes catégories d'acteurs (producteurs, fournisseurs d'intrants, commerçants à l'aval de la production) évoluent notamment lors de la mise en place d'organisations professionnelles⁶ et inter-professionnelles⁷. L'Etat dispose aussi de différents outils pour intervenir sur les filières : gestion publique (partielle ou totale) de l'offre, intervention dans la fixation des prix, taxation des intrants et des productions, régulation du commerce extérieur. Son pouvoir est toutefois limité par les accords internationaux qui diminuent ses prérogatives, notamment en matière douanière.

Il s'agit d'identifier ces phénomènes de régulation ainsi que l'impact des politiques économiques et sociales sur l'évolution de la filière.

⁶ Regroupant une seule catégorie d'acteurs.

⁷ Regroupant plusieurs catégories d'acteurs.

● Diagnostiquer les dysfonctionnements et élaborer des solutions

Deux principes sous-tendent l'analyse des dysfonctionnements :

- > un dysfonctionnement se rattache à un symptôme précis : pénurie, surproduction, fluctuations trop fortes des prix, différentiel de prix excessif entre producteur et consommateur ;
- > le dysfonctionnement est relatif à un point de vue, un objectif ou une catégorie socio-professionnelle : une fluctuation importante des prix entre la période de récolte et la période de soudure représente ainsi un problème pour les petits producteurs, obligés de vendre après récolte, alors qu'elle peut éventuellement être favorable à ceux qui, en ville ou à la campagne, ont les moyens de stocker.

Le diagnostic d'un dysfonctionnement débouche sur la formulation de mesures de correction, fréquemment favorables à certains opérateurs et défavorables à d'autres.

AMÉLIORER LE FONCTIONNEMENT D'UNE FILIÈRE

● Renforcer la compétitivité des filières

L'amélioration de l'organisation d'une filière vise fréquemment à renforcer sa compétitivité. On peut considérer que « *la compétitivité des filières agricoles est la capacité des acteurs de la filières à avoir une stratégie leur permettant de conquérir et de maintenir sur le long terme des parts de marché* »⁸. Cette compétitivité s'appuie sur des éléments complémentaires : le facteur prix et les facteurs non-prix ou qualitatifs.

● Le facteur prix

La compétitivité-coût ou la compétitivité-prix implique de maîtriser les coûts de production en réduisant les charges à chaque stade de la filière : coûts de production, de stockage, de transformation et de conditionnement, de commercialisation. Les mesures de libéralisation des filières, en cherchant à réduire les prélèvements indirects et les coûts de transaction, privilégient la compétitivité-coût. La décomposition analytique de la filière selon la répartition de la valeur ajoutée donne les indications sur les progrès à effectuer pour mieux maîtriser les coûts.

● Les facteurs non-prix

On désigne par ce terme tous les facteurs sociaux et institutionnels qui déterminent les capacités des acteurs, à différentes échelles, à percevoir et à répondre collectivement à l'évolution de la demande et à se positionner par rapport à la concurrence. Cette capacité collective se traduit par des gains de productivité grâce à la production d'une gamme de produits dont les prix, les quantités (volume et régularité de l'approvisionnement) et la qualité sont adaptés à une demande évolutive. Elle permet de réduire l'incertitude sur les prix et la production.

⁸ « *Filières agroalimentaires en Afrique : comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

La notion de compétitivité fait souvent référence aux performances du commerce extérieur et se limite fréquemment à la compétitivité prix. Pour les pays africains, on parle beaucoup de la compétitivité des filières d'exportation (café, cacao, etc.). Mais les productions vivrières nationales comme les céréales sont également concernées, dans la mesure où elles se trouvent concurrencées sur le marché intérieur par les importations alimentaires issues du marché international (exemple du riz au Sénégal), et qu'elles font parfois l'objet d'un commerce sous-régional. Pour ces filières vivrières, les facteurs non-prix (capacité des producteurs à gérer des excédents, à trouver des marchés, etc.) sont essentiels à prendre en considération pour renforcer la compétitivité des filières.

● **Répondre aux difficultés d'organisation des marchés⁹**

Plusieurs difficultés caractérisent le fonctionnement des marchés agroalimentaires en Afrique :

- > les difficultés d'accès au marché et d'écoulement de la production ;
- > la rigidité de l'offre ;
- > le manque d'équité dans la fixation des prix ;
- > la tromperie sur la qualité et comportements opportunistes ;
- > les difficultés pour accroître la productivité.

● **Les difficultés d'accès au marché**

Le producteur isolé se trouve généralement dans une situation de mauvais accès au marché. Le risque est fort de ne pas trouver les produits souhaités en temps voulu, de ne pas pouvoir vendre ses récoltes au moment souhaité, et de ne pas pouvoir emprunter au bon moment. De plus, pour la plupart des transactions, il doit assumer les frais de transport.

Les pistes de solutions pour faciliter l'accès aux marchés

- réalisation de marchés à dates fixe sur des lieux fixes ;
- réalisation de tournées régulières – donc prévisibles – par les commerçants ;
- renoncement progressif aux échanges directs sur des places de marché entre offreurs initiaux et demandeurs finaux, et intermédiation de commerçants connaissant par expérience le comportement de la demande et de l'offre ;
- établissement de réseaux de commerçants concentrant la connaissance de l'offre et de la demande, et diffusion d'informations par téléphone pour adapter les mouvements de véhicules aux besoins de transaction ;
- mise en place de systèmes bancaires appropriés ;
- création d'organisations de producteurs fournissant des services adaptés à leurs adhérents : coopératives pour la mise en marché, pour les approvisionnements, pour le stockage ; systèmes mutualistes pour le crédit, l'épargne et l'assurance ;
- contrats d'achat et de vente spécifiant les conditions de transaction.

⁹ Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique: comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

● La rigidité de l'offre

L'offre agricole est assez rigide.

- > *pour les plantes annuelles*, le producteur sème (ou plante) en fonction d'une espérance de rendement et d'hypothèses sur les prix. Entre la période de semis (ou de plantation) et la période de mise en marché, celui-ci peut évoluer sans que le producteur ne puisse augmenter son potentiel de production. Il ne peut que réduire l'offre réelle ;
- > *pour les plantes pérennes*, le producteur a fait un investissement qu'il cherche à valoriser. Le potentiel de production annuel ne peut pas beaucoup être modifié par les techniques culturales. Il y a flexibilité à la baisse, mais rigidité à la hausse ;
- > *on peut dire à peu près la même chose pour l'élevage*. Mais la durée de vie des animaux et l'évolution de la qualité marchande en fonction de l'âge créent une autre rigidité : la nécessité de vendre à certaines échéances.

La rigidité peut également être liée à l'imperfection des marchés financiers. Des producteurs qui désirent disposer de sommes exceptionnelles et qui n'ont pas accès au crédit n'ont pas d'autres choix que de produire plus, même si la tendance est à la surproduction. La rigidité de l'offre agricole est donc souvent structurelle. Elle participe à l'instabilité des prix et a des conséquences sur les revenus.

Les pistes de solutions pour réduire la rigidité de l'offre

- la diffusion d'une information à caractère stratégique sur les marchés et des analyses sur les perspectives ;
- la définition de contrats de production précisant les conditions particulières pour stimuler l'offre, mais en donnant des garanties en cas de retournement du marché ;
- la définition de formes contractuelles permettant la mise en place de stocks ;
- la généralisation de marchés financiers ruraux.

● Le manque d'équité dans la fixation des prix

La formation d'un prix (sans considération pour la qualité du produit) dépend de la transparence des rapports de forces qui s'expriment lors de la transaction. Ces rapports de force sont liés :

- > *à l'information disponible pour chaque agent* : si l'information est asymétrique, l'avantage est à celui qui en a le plus ;
- > *aux marges de manœuvre et à la capacité des agents refuser la transaction* : capacité de refuser de vendre ou d'acheter à un certain prix ;
- > *à l'histoire des relations entre acteurs* : cette histoire peut faire intervenir les relations d'endettement, les relations de confiance, le clientélisme politique, le respect des hiérarchies locales, etc.

Les producteurs sont souvent positionnés dans un rapport de force défavorable en raison de l'atomicité de l'offre, de leur manque de réserves financières, des difficultés d'accès aux marchés financiers ruraux et de leur isolement vis-à-vis des circuits d'information.

Les pistes de solutions pour donner plus d'équité aux échanges

- la diffusion d'informations publiques sur les prix: mercuriales, systèmes d'information sur les prix ;
- le développement des marchés financiers ruraux : crédit, assurance, épargne¹⁰ ;
- l'augmentation des capacités de stockage des producteurs par la création d'organisations communes.

● La tromperie sur la qualité

Dans certaines transactions, l'une des parties a la possibilité de cacher la qualité du produit ou du service rendu : faux vaccin, produit sanitaire périmé, absence de solvabilité de l'emprunteur ou garantie falsifiée, etc. Il y a là aussi asymétrie de l'information. De plus, la vérification de l'information est coûteuse et l'accès peut en être difficile.

Les pistes de solutions pour limiter les tromperies sur la qualité

- la maîtrise par les utilisateurs des filières de production des produits achetés (pour les produits à importance critique) ;
- la garantie de qualité donnée par l'Etat, et les assurances qui l'accompagnent ;
- la garantie de qualité donnée par une entreprise ou un ensemble d'entreprises respectant un cahier des charges ou un label.

● Les difficultés pour accroître la productivité

En situation de libre marché, une demande supérieure à l'offre doit logiquement se traduire par l'accroissement des prix. Si le signal de prix est transmis aux producteurs, normalement ceux-ci répondent en accroissant leur offre. Lorsqu'il n'y a plus d'espaces de culture disponibles, il faut accroître les rendements pour pouvoir augmenter les quantités offertes, et lorsque les capacités de main-d'œuvre sont saturées, il faut accroître la productivité du travail. Cela peut amener à changer en profondeur les systèmes de production. Dans ce cas, la réponse de la production aux signaux de prix n'est pas immédiate.

Dans de nombreux cas, la faible réponse aux signaux de prix s'explique par la lenteur de l'apprentissage des comportements d'économie de marché et par la faiblesse des fondations du marché.

Lorsque l'accroissement de la productivité nécessite des changements des systèmes productifs, il est nécessaire qu'existent des accords entre les différents agents de la filière pour partager le risque du changement (partage des fruits de la croissance, couverture des risques).

¹⁰ Cf. chapitre 223.

● **Consolider l'organisation des filières agroalimentaires**

En Afrique, l'importance des asymétries de pouvoir sur les marchés (information, capacité de pression), le caractère très imparfait de ces marchés et l'instabilité du droit donnent aux transactions un caractère particulier de risque et d'incertitude qui est compensé par des formes sociales de coordination très variées.

L'amélioration de l'organisation des filières comporte deux grands types d'appui :

- > *le renforcement de certains opérateurs*, afin d'améliorer la rentabilité de leurs activités et leur place au sein de la filière dans les cas d'asymétries de position¹¹. Actuellement, ces interventions concernent surtout l'appui aux organisations paysannes. Mais, pour dynamiser une filière, il peut être tout aussi intéressant de chercher à lever les goulots en amont ou en aval de la filière (collecte, commerce de gros, transformation), en appuyant spécifiquement une catégorie d'acteurs concernée par le problème identifié ;
- > *l'appui à la concertation et coordination entre acteurs de la filière*. L'objectif est d'analyser et de résoudre, de façon concertée, les problèmes qui limitent la compétitivité de la filière. Cette concertation est organisée entre les représentants des différentes catégories d'acteurs : producteurs, transformateurs, commerçants, services de l'Etat. Elle peut prendre la forme du soutien à la construction d'une interprofession, mais ce n'est pas la seule possibilité. On peut aussi commencer par mettre en place des institutions médiatrices ou organiser la concertation, le débat et la circulation de l'information entre acteurs sous diverses formes, avant de se lancer dans l'appui à la création d'une interprofession.

Les institutions médiatrices¹²

Leur rôle est de produire et de diffuser des analyses sur la compétitivité de la filière, de présenter des améliorations possibles et d'assurer la médiation lors de négociations entre acteurs.

Les institutions médiatrices ne peuvent pas dépendre de l'Etat dès lors qu'il s'agit d'intérêts privés. Mais l'Etat peut être autour de la table. Sa participation est une garantie d'efficacité, car ses décisions sont d'autant mieux comprises et utilisées par les acteurs que ceux-ci ont participé à leur élaboration.

Il peut en résulter :

- des accords ponctuels et la réunion périodique d'une instance d'échange d'information et de négociation ;
- des convergences stratégiques par entente implicite ;
- des accords contractuels révisables : accords de campagne, accords de plus longue durée ;
- la création d'«interprofessions» structurées.

11 On appelle « asymétrie de position » les situations où une catégorie d'opérateurs se retrouve en situation de faiblesse pour négocier avec une autre catégorie, pour une ou plusieurs raisons : difficulté d'accès à l'information, position de monopole de l'interlocuteur, etc.

12 D'après BOURGEOIS R. (1998). Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique : comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

L'appui aux organisations professionnelles agricoles et celui à la création d'interprofession ne sont pas exclusives, bien au contraire : on a souvent intérêt à agir simultanément sur le renforcement des organisations de producteurs et sur l'amélioration de la coordination des différentes catégories d'intervenants au sein de la filière. Cela permet à la fois :

- > de créer un espace organisé de dialogue pour réguler des flux de produits, d'améliorer la qualité du service ou du produit fourni au consommateur et de négocier des niveaux de prix ;
- > de donner au sein de cet espace une place importante aux représentants des agriculteurs en renforçant leur légitimité et en leur donnant un accès à l'information proche de celui dont disposent les autres catégories d'acteurs.

● Appuyer les organisations professionnelles agricoles¹³

● *L'identification des différentes opérations techniques*

Cette analyse doit porter sur les étapes qui permettent le passage du produit d'un état à un autre, du producteur au consommateur, en identifiant de façon exhaustive les intrants, les services et les savoir-faire nécessaires pour chaque étape. L'analyse est renforcée pour les opérations techniques situées dans la sphère d'action potentielle des organisations professionnelles agricoles (OPA).

Il s'agit ensuite d'analyser les actions des OPA à chacune de ces différentes étapes, que ces actions soient réalisées directement par les OPA, ou indirectement par un contrat de service avec un opérateur.

● *L'analyse de l'efficacité des interventions des organisations professionnelles*

Les OPA ont souvent mis en place cinq types d'intervention¹⁴ : le crédit à la production, l'achat et la gestion d'équipements collectifs, le conseil technique, l'approvisionnement en intrants, la commercialisation des produits. Pour apprécier l'efficacité de ces interventions, il est important de préciser leurs modalités de mise en œuvre, dans cinq domaines différents :

- > *les modalités d'acquisition* : type de fournisseur, conditions de fixation des prix, existence d'un contrôle de la qualité ;
- > *les modalités de financement* : origine, type de garantie, conditions financières ;
- > *la gestion physique* : acheminement, stockage, etc.
- > *les modalités de rétrocession aux agriculteurs* : relation entre les OPA et leurs «clients» (services réservés aux membres/services accessibles à tous), conditions d'accès (cotisation, dossier, participation aux réunions, etc.), services offerts (ristournes sur les prix, paiement différé, conseil technique gratuit, etc.), prix proposés (comparaison avec la concurrence, négociation avec plusieurs opérateurs, prise en compte de la qualité) ;
- > *les alternatives existantes* : autres opérateurs fournissant les mêmes services, conditions et modalités d'accès.

¹³ Cf. chapitre 221.

¹⁴ Au niveau de la production, il s'agit des cinq catégories d'intervention les plus communément rencontrées ; l'existence et l'importance de chacune doivent être évaluées dans chaque situation.

Cette exercice facilite la comparaison entre les interventions conduites par différentes OPA et permet d'expliquer certaines pratiques. Mais surtout, il sert de base de discussion au sein d'une OPA en préalable à une prise de décision.

● **La hiérarchisation des interventions prioritaires**

Pour réaliser ce travail, il convient d'examiner les critères suivants :

- > *les économies d'échelle possibles* : par exemple, l'achat d'engrais en gros diminue le coût d'achat unitaire et celui du transport, mais peut en revanche augmenter celui du stockage ;
- > *la spécificité des services fournis* : pour les équipements, une faible spécificité (hangar, camion, etc.) augmente leur rentabilité s'ils sont effectivement utilisés de manière optimale ; dans le cas contraire (camion faisant un voyage sur deux à vide par exemple), le service risque d'être plus coûteux que celui offert par un privé dont le camion ou le hangar sont toujours pleins. Pour les équipements très spécifiques, le coût d'utilisation doit être établi en tenant compte des consommables, de la durée de vie probable de l'équipement et d'une estimation raisonnable des quantités à traiter. Dans le cas du crédit, l'organisation collective permet d'accéder à des prêts fonctionnant selon le principe de la caution solidaire (cf. chapitre 223) ;
- > *les alternatives possibles* : les OPA bénéficiant de faibles ressources, il convient de prendre la mesure de la concurrence existante pour un service particulier, concurrence qui influe directement sur les prix proposés aux producteurs. Il est souvent peu intéressant pour les OPA de lancer une activité déjà prise en charge de façon efficace par le secteur privé. En revanche, la recherche de produits de qualité, dans le cas où la garantie fournie par les privés est faible, peut justifier la mise en place d'un service alternatif ;
- > *la dimension collective de l'intervention* : les activités analysées ont-elles un impact positif ou négatif au plan collectif ? Par exemple le conseil technique, même s'il ne touche qu'un nombre limité de producteurs, peut se diffuser spontanément et profiter à d'autres. De même l'organisation d'un marché physique bénéficie à l'ensemble des producteurs. À l'inverse, la mise en place de dispositifs individuels de stockage n'a guère d'effet direct ou indirect pour ceux qui n'en bénéficient pas.

Ces critères permettent de passer en revue les interventions prévues par les OPA. La pondération de ces critères par les organisations elles-mêmes, en fonction de leurs priorités, permet de choisir les priorités d'intervention.

● **Engager un processus de création d'interprofession**

● **Les interprofessions de filières**

L'objectif d'une interprofession est de résoudre de façon concertée entre les différents acteurs un ensemble de contraintes qui limitent la compétitivité d'une filière. La création d'une structure interprofessionnelle est un processus long et complexe.

L'efficacité d'une interprofession repose en priorité sur :

- > *sa légitimité*. Celle-ci ne se décrète pas, mais se construit sur deux fondements : la participation effective des différents groupes d'acteurs opérant dans la filière et la légitimité des représentants à l'intérieur de chaque groupe ;
- > *l'accès à l'information* : des outils spécifiques et efficaces doivent être mis en place afin d'assurer la transparence de l'information. Cette transparence concerne l'information sur les marchés (prix nationaux et internationaux, activité des marchés) et celle sur la filière : coûts de production, décomposition des prix dans la filière, compétitivité par rapport aux produits concurrents présents sur les marchés, organisation des acteurs, politiques sectorielles.
- > *la formation des acteurs* : face aux acteurs économiquement et politiquement influents, il est nécessaire d'accorder une attention particulière au renforcement des capacités d'analyse économique, d'élaboration de propositions, mais aussi d'expression et de négociation des groupes désavantagés. Ce sont essentiellement les producteurs, les transformateurs et les commerçants de petite et moyenne dimension qui sont concernés par des formations spécifiques à l'analyse économique.

La construction progressive d'une interprofession implique une concertation permanente sur les marges de progrès possibles pour l'ensemble des acteurs de la filière : amélioration de la qualité de la production agricole ou des produits transformés, réduction des coûts, régularité des approvisionnements en intrants ou en production ; efficacité des modes de régulation de l'Etat, etc. Cette concertation peut déboucher sur :

- > l'établissement de relations contractuelles entre opérateurs afin d'atteindre les objectifs fixés ;
- > l'engagement de discussions avec les pouvoirs publics pour faire évoluer le cadre réglementaire et assurer son application effective, afin de mettre en place un environnement plus favorable au développement de la filière.

Quelles formes de concertation privilégier ?¹⁵

Les formes de concertation ou de coordination à privilégier dépendent des enjeux et des priorités des acteurs concernés :

- table ronde périodique: présentation d'études, échanges d'analyses ;
- table ronde institutionnalisée par des rendez-vous périodiques permettant des négociations (conférences annuelles par exemple) ;
- accord interprofessionnel formel prévoyant des mécanismes de coordination plus ou moins contraignants ;
- organisation interprofessionnelle avec des mécanismes de représentation.

¹⁵ Extrait de « *Filières agroalimentaires en Afrique : comment rendre le marché plus efficace ?* », op. cité.

● **La méthode CADIAC¹⁶**

Cette méthode CADIAC a été développée par le CIRAD et l'IICA¹⁷ à partir de leurs travaux sur la filière bovine et la filière café en Amérique centrale. Elle repose sur deux axes principaux, mis en œuvre simultanément :

- > *l'analyse du système agroalimentaire, basée sur les méthodes d'analyse de filière.* Elle met l'accent sur la participation des organisations professionnelles et des acteurs institutionnels dans le processus d'étude et vise à repérer et analyser les forces et faiblesses du système ;
- > *le dialogue pour l'action, qui organise la concertation entre les acteurs autour des changements nécessaires pour améliorer la compétitivité du système agro-industriel.* Cette concertation aboutit à des propositions techniques, économiques, sociales, institutionnelles et politiques élaborées par les acteurs eux-mêmes, ainsi qu'à des compromis opérationnels pour les mettre en œuvre.

● **Jouer la «qualité» pour améliorer la compétitivité d'un produit**

La recherche systématique de la réduction des coûts de production afin de renforcer la compétitivité en terme de prix risque de mener, au pire au déclasserement des produits¹⁸, au mieux à leur maintien sur des segments de marché où la tendance générale d'évolution des prix à long terme est à la baisse.

En réaction à la standardisation des produits, les consommateurs commencent à faire preuve d'une demande beaucoup plus différenciée qu'autrefois. Les critères de qualité prennent une importance grandissante, avec notamment une demande croissante pour des produits garantissant les origines (produits du terroir), les conditions de production (agriculture biologique par exemple) et les technologies de transformation. Parfois, la demande des consommateurs porte aussi sur des critères éthiques (garantie d'un prix minimal d'achat au producteur par exemple) ou environnementaux. Cette évolution conduit à une segmentation progressive des marchés : la qualité permet à la filière qui la met en œuvre d'imposer un prix de vente plus élevé pour son produit.

L'interprofession de la filière doit donc prendre en compte les caractéristiques qui différencient le produit de sa forme standard et qui sont recherchées par les acheteurs. La maîtrise de la qualité nécessite de pouvoir garantir un niveau spécifié de qualité dans la durée. Cette maîtrise, complexe, repose sur plusieurs éléments :

- > de bonnes conditions d'information sur les marchés et un niveau de compétences technico-économiques adéquat chez tous les acteurs ;
- > une concertation étroite entre les différents opérateurs de la filière ;
- > des conditions d'infrastructures et de services suffisantes : crédit, stockage, transport, livraison, etc.
- > des politiques sectorielles stables favorisant la maîtrise de la qualité : législation commerciale cohérente et appliquée, services d'appui (recherche, vulgarisation), outils d'aide à l'innovation (crédits bonifiés, subventions, etc.).

16 CADIAC : CAdenas y DIalogo para la Accion. *Approche participative pour le développement de la compétitivité des systèmes agroalimentaires.* Robin Bourgeois, Danilo Herrera. CIRAD-IICA. 1996.

17 IICA : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

18 Notamment dans le cadre du renforcement des réglementations sanitaires à l'importation dans les pays riches.

Une stratégie «qualité» n'est pas forcément mise en œuvre par l'ensemble des agents de la filière. Leurs intérêts ne sont pas tous forcément convergents, et l'objectif de qualité peut ne pas intéresser certains d'entre eux. L'analyse fine du fonctionnement de la filière aide à identifier les acteurs les plus intéressés. L'essentiel est de repérer des acteurs intéressés à toutes les étapes de la chaîne de production–transformation–commercialisation du produit.

● Partager l'information et les analyses sur les filières

● *Les systèmes d'information sur les marchés*

Les systèmes d'information contribuent à la transparence du fonctionnement des marchés. Les enquêtes mises en place concernent généralement les produits agricoles et les principaux intrants. Elles permettent de relever les prix pour des qualités diverses, aux différents stades de la filière : production, collecte, demi-gros, gros, détail. Cette collecte d'informations est réalisée auprès des divers types d'opérateurs et sur les marchés les plus représentatifs.

La restitution des informations constitue un élément stratégique du dispositif. Il faut veiller à bien cibler le public et à présenter l'information sous des formes adaptées et facilement accessibles. Il est également important de mettre en place des formations qui permettent aux organisations professionnelles d'utiliser les informations proposées au mieux de leurs intérêts.

● *Les observatoires de filières*

Les observatoires des filières poursuivent un double objectif :

- > fournir aux pouvoirs publics des éléments pour définir et suivre leurs politiques ;
- > permettre aux différents acteurs de la filière de mieux connaître et analyser leur environnement économique, et contribuer ainsi à l'instauration d'un dialogue.

Ces observatoires rassemblent et synthétisent des informations, effectuent des analyses périodiques et réalisent des investigations ponctuelles sur différents thèmes. La nature des informations produites est définie en fonction des besoins des utilisateurs.

En termes opérationnels, il s'agit avant tout pour ces observatoires de mettre en réseau les différentes institutions qui détiennent des informations sur la filière, de collecter et d'analyser ces informations, d'en réaliser des synthèses et ensuite de les diffuser.

Les observatoires proposent les types d'informations et d'activités suivants :

- > *les publications hebdomadaires* diffusent les prix relevés sur les marchés ;
- > *les publications trimestrielles* diffusent des informations sur le marché international des produits agricoles concernés, sur la politique nationale et régionale du commerce extérieur, sur les volumes importés et sur les modalités de distribution de l'aide alimentaire et en intrants. L'objectif de ce type de publication est double : fournir une information conjoncturelle aux organisations professionnelles et aux opérateurs privés, afin qu'ils puissent adapter leur stratégie en conséquence, et permettre aux pouvoirs publics de suivre la conjoncture de la filière ;
- > *des rapports annuels sur la situation des filières* sont diffusés et font l'objet d'une réunion publique de présentation.

Les observatoires peuvent être également chargés d'établir un diagnostic approfondi de la filière ou d'effectuer des études spécifiques, à la demande des différentes organisations professionnelles. L'étude des coûts et des marges aux différents stades de la filière et de leurs évolutions, ainsi que l'analyse du fonctionnement du marché national et international du produit concerné, sont indispensables pour compléter l'information factuelle sur les prix et les quantités échangées.

Ces études et les débats qui découlent de leur présentation, constituent un outil de choix pour favoriser le dialogue entre les différentes catégories d'acteurs, par exemple dans le cadre de la mise en place d'une interprofession. Ils peuvent également être très utiles aux pouvoirs publics pour appréhender les principales évolutions de la filière.

Le crédit rural

À partir d'une contribution de F. Doligez (IRAM)
et de D. Gentil (IRAM)

QUELQUES DÉFINITIONS

En zones rurales, le souci principal a souvent été l'octroi du crédit agricole. Néanmoins il est apparu que les agriculteurs étaient souvent pluri-actifs et qu'ils préféreraient le financement d'activités non agricoles : commerce, transformation de produits, services, habitat, dépenses sociales.

Les approches ont alors évolué du crédit agricole au crédit rural et d'un crédit dirigé à un crédit ouvert ou de libre disponibilité. D'autre part, les programmes d'appui aux petites et moyennes entreprises urbaines ont rapidement découvert l'importance de la fonction financière et se sont de plus en plus intéressés aux villes secondaires et aux gros bourgs ruraux.

Les nouvelles relations villes/campagnes et cette double évolution ont rendu la distinction entre crédit rural et urbain beaucoup moins pertinente. Le financement de l'agriculture ou, plus généralement, le financement rural, peut se diviser en deux grandes catégories : les subventions et le crédit rural.

Les subventions

Destinées aux exploitations agricoles ou, plus généralement au développement rural, elles sont intégrées au système de prix (prix garantis) ou correspondent à des transferts directs aux unités économiques. Elles font partie intégrante des instruments de politique agricole. Le financement du développement rural est centré sur les infrastructures collectives, sociales ou économiques, dont la rentabilité est indirecte ou différée, comme les aménagements de bas-fonds, la lutte anti-érosive, les écoles ou les puits. Il relève le plus souvent de fonds spécialisés, comme les fonds de développement local, et associe subventions, co-financement, dotations et parfois également crédit.

Le crédit agricole

Il est divisé en deux grands volets. Le premier concerne le financement des «entreprises» en amont et en aval de la production, organisations professionnelles ou sociétés commerciales. Les «entreprises» assurent l'approvisionnement en intrants, la collecte, la commercialisation et parfois la transformation ou l'exportation des produits. On dénote à leur niveau une très grande diversité de situations mais, en général, ce type de structure relève plutôt du crédit commercial à travers les filières ou d'un crédit bancaire adapté aux petites et moyennes entreprises.

Le deuxième volet correspond au financement des exploitations agricoles ou, plus largement, des unités économiques rurales, incluant la pluri-activité du tissu économique rural. Il correspond plus particulièrement à l'épargne-crédit rural, couvre le financement des cycles d'exploitation, des équipements et de l'investissement. Le financement des structures d'exploitations : installation, investissements fonciers et reprises lors des successions, qui fait en théorie partie de ce volet bien qu'il soit souvent complété par des subventions publiques, est très rarement couvert en dehors des pays riches et de quelques pays dits émergents.

HISTOIRE ET DIVERSITÉ

● *Des controverses anciennes*

Depuis bientôt un siècle, le problème des services financiers en milieu rural a fait l'objet de nombreux débats qui ont conduit à des expériences très variées et généralement à des échecs. Sans retracer chacune des histoires avec ses spécificités nationales, il faut souligner l'importance des analyses historiques pour éviter de reproduire les mêmes erreurs mais surtout pour comprendre les attentes, les pratiques et les habitudes.

Les paysans, contrairement aux cadres et aux experts de passage, ont en général une excellente mémoire. Au-delà des discours, ils cherchent à situer l'intervention proposée dans la chaîne des expériences passées et se demandent dans quelle mesure elle peut être utilisée ou « détournée » pour satisfaire leur demande et s'inscrire dans leur logique socio-économique.

La question des services financiers s'est longtemps résumée aux méthodes de distribution du crédit. Dès la période coloniale, on observe une tension entre deux grandes tendances.

La tendance « bancaire »

Le crédit est considéré comme une opération financière sérieuse. Il doit se rembourser et le risque doit être couvert par des garanties matérielles : bâtiments, équipements, titres de propriété, stocks, troupeaux, etc. Le taux d'intérêt doit couvrir au moins les coûts de gestion et les risques et, si possible, dégager un profit.

La tendance « développementaliste »

Le crédit est un instrument pour atteindre d'autres objectifs. L'essentiel est de distribuer le crédit, rapidement et au plus grand nombre d'exploitations agricoles, puisque le crédit a des effets positifs sur l'adoption des innovations (engrais, semences améliorées, matériel etc.), sur la production agricole (par l'augmentation des surfaces et l'intensification) et sur la diversification des productions et des services. Dans ces conditions, le taux de remboursement n'est pas un problème prioritaire et les taux d'intérêt doivent être les plus bas possibles.

Les débats actuels montrent que cette différence d'approche reste, en grande partie, d'actualité. On peut cependant faire le constat que ces deux tendances aboutissent à une impasse.

- > Les banques commerciales sont très réticentes pour prêter aux agriculteurs, sauf exception : 'exploitations «modernes» de grandes dimensions, avec titres fonciers, ou petits producteurs liés à une filière organisée avec la maîtrise de la commercialisation. Les crédits de faible montant à une clientèle dispersée entraînent des coûts de gestion très élevés qui s'ajoutent aux risques spécifiques des activités agricoles (aléas climatiques, épizooties, etc.) et à la difficulté de trouver et de réaliser des garanties.
- > Les conceptions «développementalistes» n'apportent que des solutions temporaires, très dépendantes de financements externes. Elles ont surtout de graves effets pervers, dont les conséquences continuent à se faire sentir pendant de longues années, en introduisant une culture du non remboursement et en rendant difficile, par des pratiques laxistes, l'émergence de systèmes financiers pérennes.

● **La diversité des formes de financement**

Du secteur bancaire au secteur informel, les services financiers prennent des formes multiples qui coexistent, sont complémentaires ou se concurrencent.

● **Le secteur bancaire**

Des banques de développement ont été créées au moment des indépendances. Elles avaient pour vocation d'aider l'ensemble des programmes et des projets de développement, notamment les infrastructures, l'industrie, l'artisanat... et l'agriculture. La majorité de ces banques se sont en fait peu intéressées au développement rural et elles ont souvent fait faillite. Des banques spécialisées dans l'agriculture, comme les «caisses nationales de crédit agricole», ont alors été mises en place à partir de capitaux en provenance de l'Etat ou de financements extérieurs. La plupart ont rencontré de nombreuses difficultés et sont plus ou moins en faillite.

En Afrique de l'Ouest francophone, seules deux banques de ce type, très liées aux filières coton, sont en bonne santé financière, quatre sont en faillite et une est en survie artificielle. Les banques commerciales, sauf rares exceptions, ne sont pas intéressées par le financement des petites exploitations agricoles. Des prêts de faible montant, à une clientèle dispersée géographiquement, ne présentant pas de garanties matérielles, sont coûteux à gérer de l'octroi à la récupération et sont très risqués. Différents programmes ont essayé d'intéresser les banques à ce nouveau public, sans grand succès. Certaines ont profité de «l'effet d'aubaine» (lignes de crédit bon marché et fonds de garantie couvrant 100 % des risques), mais n'ont pas souhaité modifier leurs pratiques.

Cette situation est probablement en train de changer. Les banquiers ou les investisseurs, notamment en Amérique latine, s'aperçoivent que l'on peut faire des profits relativement substantiels avec le micro-crédit. En Afrique, de nouvelles banques à direction et capitaux nationaux, moins tentées de transférer leurs liquidités vers leur siège du Nord, commencent à s'intéresser au potentiel de ce nouveau public. Avec les politiques de libéralisation financière et d'ajustement structurel, la concurrence est plus forte, les banques sont souvent sur-liquides et les possibilités de placements rémunérateurs auprès des banques centrales ont pratiquement disparu. Certaines banques créent des départements spécialisés ou de nouvelles formules telles que les mutuelles communautaires de croissance (MC2), adaptées à cette nouvelle clientèle.

Mais, dans la majorité des cas, il est normal que le secteur bancaire soit peu intéressé par de multiples opérations de faibles montants pour un public à risque, qui ne présente pas de documents comptables orthodoxes ou de garanties matérielles classiques. Le financement à travers les filières de rente connaît également de grands changements. En Afrique de l'Ouest, les couples banques de développement/filière restent les premiers financeurs de l'agriculture, notamment à travers le financement des intrants dont le remboursement est prélevé à la source, lors de la commercialisation. Par exemple, au Burkina Faso, la CNCA et la Sofitex totalisent un encours de 25 à 40 milliards de francs CFA suivant les années, contre 3 milliards environ pour les institutions du secteur intermédiaire. Mais l'augmentation de l'instabilité des prix sur les marchés internationaux, le démantèlement des entreprises publiques gérant ces filières et la fin du monopole de la commercialisation pourraient rapidement mettre fin à cette situation. En effet, dans cette situation, les avances sur récolte ne sont plus garanties et les organisations paysannes gérant la commercialisation ne sont plus en mesure d'assurer la caution solidaire entre les producteurs.

● **Le secteur informel ou autonome**

Pendant longtemps, les activités des services financiers informel ont été considérées comme relativement marginales et cantonnées à des affaires sociales : solidarité pour faire face à des frais de funérailles, de maladie ou de scolarité. Les pratiques de crédit usuraire étaient censées disparaître grâce au développement du crédit «moderne». De nombreuses études ont montré l'importance de ce secteur en termes de public et de flux financiers. En général, plus de 80 % de la population utilise les services financiers informels et les sommes drainées sont souvent aussi importantes que celles qui passent par le secteur bancaire.

Le secteur «autonome» est lui-même caractérisé par son extrême diversité. Il faut souligner l'importance de l'épargne en nature (grenier, bétail, or, matériel...) et des *gardes-monnaie*, personnalités riches comme les commerçants ou connues pour leur moralité, ou certains notables, chez qui l'on peut déposer son épargne, sans intérêt. Les prêts personnels, très fréquents, peuvent se faire dans des conditions dites usuraires, avec des taux d'intérêt de l'ordre de 10 à 20 % par mois ou à des taux apparemment nuls auprès de parents, voisins ou amis. Ces prêts peuvent faire l'objet d'autres types de compensations, sociales ou en travail.

● **Les tontines¹**

Elles ont plusieurs siècles d'existence. La forme simple repose sur le principe de réciprocité : un groupe se constitue sur une base sociale homogène de revenu, de profession, d'origine ethnique, etc. Chacun cotise à date régulière, tous les jours de marché, toutes les semaines ou tous les mois. À tour de rôle, chacun reçoit l'ensemble des cotisations. En fait, il s'agit d'une création originale, qui n'est ni vraiment de l'épargne ni vraiment du crédit. La motivation économique essentielle est de disposer en une fois d'une grosse somme d'argent qui permet de réaliser un investissement important. Les motivations sociales sont loin d'être négligeables : se réunir entre personnes ayant confiance les unes dans les autres, se donner des conseils, parfois faire des repas ou des fêtes, etc. Dans les tontines complexes, d'autres fonctions se greffent, comme des

¹ *Rosca* en anglais ou *tandas* au Mexique, *pasanaku* en Bolivie, *houay* au Laos, etc.

caisses spécifiques pour les assurances décès, maladies, frais de scolarité ou des systèmes d'enchères qui permettent d'alimenter des «caisses de développement» octroyant du crédit.

● **Les banquiers ambulants**

On se trouve en présence d'une formule originale où le client paye une commission (3 % par mois) pour s'obliger à épargner tous les jours une petite somme. Chaque banquier ambulant remet une carte mensuelle avec des cases journalières. Il collecte chez son client tous les jours une petite somme d'argent, dont le montant est fixé au préalable. À la fin du mois, il remet à son client la somme collectée moins une mise journalière qui correspond à sa commission. On est loin de la conception du taux d'intérêt comme équilibre entre offre et demande financière.

● **Les caisses de solidarité**

De nombreuses caisses de solidarité, autonomes ou liées aux tontines, ont une fonction d'assurance, notamment pour les cas de décès et de maladies ou pour financer les frais de scolarité. La caisse sociale peut apporter son secours en payant des frais ou en prêtant de l'argent sans intérêt. Mais dans d'autres cas, ces caisses de solidarité, outre leurs fonctions d'assurance, octroient aussi des prêts, généralement avec un intérêt assez élevé, pour développer des activités économiques. De même, des clubs d'investisseurs, par exemple les «clubs libériens» en Guinée forestière, se créent, à partir de la cotisation des membres, pour faire des crédits à taux d'intérêt relativement élevés, de l'ordre de 5 % par mois, aux membres ou parfois aux non membres parrainés, pour développer leurs activités ou rentabiliser leur capital. Les responsables reçoivent des commissions selon les résultats : ils ne sont donc pas bénévoles.

Les exemples pourraient être multipliés. Le secteur financier autonome se caractérise par la grande diversité de ses fonctions et de ses publics, par sa souplesse et ses capacités d'adaptation. Son étude permet de voir comment paysans et urbains s'organisent sans intervention extérieure, leurs priorités, les modes d'organisation, l'imbrication entre économique et social, les coûts et les modes de rémunération, la gestion des risques. Le secteur autonome, malgré ses limites, reste le principal recours de la majorité de la population : c'est un excellent révélateur de la demande réelle et de ses modalités d'organisation.

● **Le secteur intermédiaire**

Au cours des dernières années, il est apparu clairement que les banques classiques ne sont pas véritablement intéressées par le public des petites exploitations paysannes ou des entrepreneurs ruraux et urbains. Leurs techniques financières ne sont pas adaptées pour servir ce segment de clientèle. Par ailleurs, le secteur informel est toujours aussi vivant et adapté, mais ses moyens limités et ses services souvent coûteux ou risqués.

D'où la nécessité de nouvelles institutions financières, d'un secteur intermédiaire entre les banques et l'informel, que l'on qualifie généralement de «microfinance», parce qu'elle s'adresse à des petits producteurs, c'est-à-dire l'immense majorité de la population, et que les sommes prêtées ou épargnées restent limitées : les crédits sont pour la plupart inférieurs à 1 000 dollars. Ce secteur en pleine expansion est l'objet

de nombreuses interventions ou manifestations comme les sommets du micro-crédit. Il faut cependant faire attention aux effets de mode et aux risques de croissance trop rapide pouvant entraîner des lendemains qui déchantent.

● **Lignes de crédit et fonds de roulement dans les projets**

Pendant de très nombreuses années, les projets ont été le mode d'intervention privilégié de l'aide extérieure dans le secteur rural. Une composante crédit y était le plus souvent incluse. Le crédit apparaissait comme un outil au service d'autres objectifs : diffusion d'innovations techniques et d'équipement, diversification, augmentation de la production, lutte contre la pauvreté, etc. Les objets de crédit étaient souvent «dirigés», prédéfinis par les techniciens et leur utilisation supervisée par les vulgarisateurs. La fonction crédit était donc subordonnée, gérée par du personnel non spécialisé. Le souci de pérennité était rarement pris en compte. Les fonds de roulement qui se rétrécissaient rapidement, étaient minés par les faibles taux de remboursement et l'absence ou le faible niveau des taux d'intérêt qui ne permettaient pas de couvrir les frais de gestion, l'inflation ou les risques d'impayés. Ce type d'intervention ne répondait pas aux priorités des paysans, n'offrait que des solutions temporaires et contribuait à la diffusion d'une culture du non remboursement. Il est donc de plus en plus remis en cause, mais continue malgré tout à être pratiqué.

● **Les coopératives d'épargne et de crédit (COOPEC)**

Même si les expériences sont déjà anciennes (Inde en 1904, Afrique anglophone à partir de 1956), la formule des *Credit unions*, c'est-à-dire des coopératives ou mutuelles d'épargne-crédit, a surtout été développée au cours de ces vingt dernières années. Les Coopec constituent un bon exemple du secteur intermédiaire. Ces institutions disposent d'une existence officielle, avec, en général, une reconnaissance juridique, ce qui les distingue du secteur autonome. Elles attachent beaucoup d'importance à l'équilibre financier et au taux de récupération des prêts, ce qui les rapproche des banques.

Les COOPEC, un modèle ancien

Les COOPEC s'inspirent d'un modèle ancien, créé au XIX^e siècle par Raiffeisen en Allemagne et Desjardins au Canada, qui s'est diffusé selon des formes diverses dans la majorité des pays. Le Woccu (World Council of Credit Unions) regroupe 96 millions de sociétaires à travers le monde, avec 350 milliards de dollars d'épargne et 276 milliards de dollars de crédit.

Les COOPEC sont d'abord des coopératives, c'est-à-dire qu'elles sont en principe gérées par leurs membres, même si le poids des techniciens salariés ou des financements extérieurs limite souvent ce principe. Du point de vue technique, elles privilégient la fonction épargne et ne font en principe du crédit qu'à partir de l'épargne collectée. Les COOPEC montrent donc qu'il est possible de mobiliser de l'épargne en milieu populaire, en général pour des raisons de sécurité et de liquidité beaucoup plus que de rémunération. Dans ces conditions, la motivation des paysans à rembourser le crédit provenant de leur propre épargne est beaucoup plus forte que si les fonds viennent de l'extérieur. Les objets de crédit, librement demandés par les membres, sont très variés, mais ils portent plus sur le commerce, la transformation de produits, l'habitat, les prêts sociaux que sur la production agricole.

En privilégiant l'épargne, les COOPEC ont tendance à accueillir davantage les couches moyennes de la population, écartant souvent les femmes et les paysans les plus pauvres, à limiter les crédits disponibles à une fraction (entre 30 et 80 %) de l'épargne collectée et, surtout, à une faible proportion des épargnants (souvent moins de 15 %). Cependant plusieurs réseaux, notamment au Bénin et au Burkina en Afrique de l'Ouest, ont des programmes spécifiques qui permettent, avec des modalités particulières proches du crédit solidaire, d'insérer les femmes dans les COOPEC.

● **Le crédit solidaire**

Par rapport aux COOPEC, le grand intérêt de l'expérience de la *Grameen Bank* au Bangladesh est de montrer qu'il est possible de faire du crédit remboursé à 98 %, à des paysans pauvres, sans terre, majoritairement des femmes, qui représentent 95 % de la clientèle. Mais ceci nécessite des techniques financières spécifiques (prêts de faibles montants, remboursés hebdomadairement, avec une épargne concomitante quasi obligatoire et des garanties sous la forme d'un groupe de caution solidaire de cinq personnes) et un système d'encadrement de la population (personnel nombreux et motivé, charte «idéologique», réunions fréquentes, formation, etc).

Il existe des expériences de caution solidaire beaucoup plus anciennes, par exemple les mutuelles du Cameroun, du Dahomey, de Madagascar, du Niger, dès 1956. Elles ont montré leurs possibles effets pervers comme la solidarité dans le non remboursement. Mais elles ont aussi mis en évidence les conditions d'application et les autres avantages des groupes : la sélection des emprunteurs, la discussion des objets de crédit, la facilité dans la gestion et le remboursement. Les ressorts sociaux mis en jeu sont davantage la pression sociale ou le sens de l'honneur qu'une véritable solidarité.

La *Grameen Bank* : savoir adapter le modèle

Dans le succès de la *Grameen Bank*, plusieurs éléments importants sont à souligner : le modèle est le résultat d'une longue expérimentation (1976-1983), menée sous la direction d'une personnalité nationale charismatique, le professeur Yunus, qui débouche sur un statut bancaire (1983). La *Grameen Bank* continue à se développer et atteint une clientèle considérable de 2,4 millions d'emprunteurs en 1998. Le modèle a été reproduit dans de très nombreux pays, mais il nécessite, à chaque fois, une adaptation importante au contexte local. En particulier, l'importance de l'effectif salarié et les coûts de suivi des emprunteurs rendent difficiles son extension dans des zones défavorisées et faiblement peuplées.

● **De nombreux modèles mixtes**

Le consensus est de plus en plus large pour souligner l'intérêt de mener de front épargne et crédit, contrairement à l'idée, souvent répandue, de l'épargne préalable obligatoire. L'épargne locale reste souvent insuffisante et il est souhaitable de la compléter par des refinancements externes, en provenance du secteur bancaire ou de bailleurs de fonds extérieurs. Il est également admis qu'une implication des emprunteurs dans la conception et la gestion des systèmes financiers favorise leur adaptation et leur efficacité, notamment en termes de taux de remboursement et de coûts réduits, par le recours au bénévolat ou à des indemnités limitées.

Mais elle a aussi ses lourdeurs et ses effets pervers. La participation est plus facile à organiser à un niveau restreint, en utilisant les structures sociales locales. Des réseaux de caisses villageoises, associant fonds internes et fonds externes, appuyés par des services techniques professionnels qui assurent la promotion, le suivi et le contrôle de ces caisses ont donc été constitués, avec le soutien d'organisations non gouvernementales.

Entre les banques et le secteur informel, le secteur intermédiaire, mêlant intervention externe et implication des épargnants et des emprunteurs, voit son influence croître. Il permet à une population croissante d'accéder à des services financiers de qualité. Ses dénominations varient selon les auteurs : microfinance, systèmes financiers décentralisés, institutions financières spécifiques ou intermédiaires. Il reste cependant très évolutif et diversifié et n'a pas encore acquis, dans la majorité des cas, stabilité financière et reconnaissance juridique. Son insertion dans les systèmes financiers nationaux, avec la création de liens avec le secteur bancaire (refinancement, placement des liquidités, etc.) reste encore également à construire.

DU PROJET À L'INSTITUTION FINANCIÈRE

Même si elle évolue en permanence, la demande des populations pour des services d'épargne, de crédit ou d'assurance présente un caractère structurel. Ce dernier implique, au-delà de l'intervention temporaire des projets, de construire des solutions durables à travers la création ou la consolidation d'institutions financières spécifiques.

● *Les principes de base des organismes de crédit*

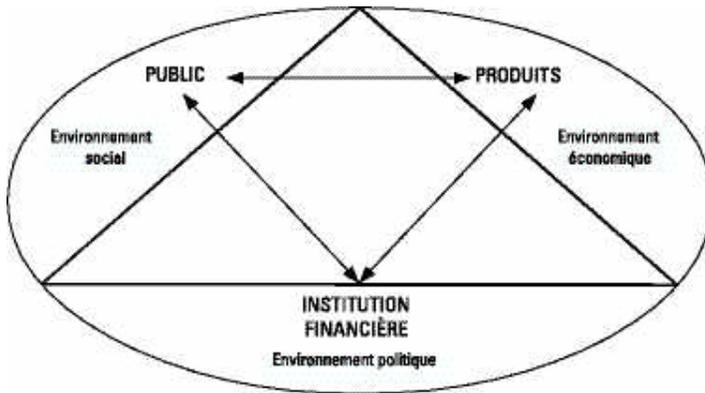
Des expériences accumulées ces dernières années, quelques principes méthodologiques de base semblent se dégager :

- > la progressivité dans le nombre de clients, le montant des crédits, la durée et la diversité des produits financiers ;
- > l'utilisation de procédures simples et compréhensibles par tous ;
- > la bonne information des clients ou des sociétaires ;
- > l'adaptation des produits financiers aux activités économiques ;
- > le recours à un système comptable et d'information de qualité.

Les nouvelles institutions financières doivent rechercher, dans chaque cas particulier, l'adéquation de leurs produits financiers et de leur construction institutionnelle aux dynamiques de la société dans laquelle elles s'insèrent. Cette variété de solutions et cette adaptation permanente sont sans doute plus efficaces que l'énonciation de règles abstraites à portée universelle.

● *Les trois dimensions de la viabilité*

En général, l'analyse de la viabilité se limite à l'étude des conditions de l'équilibre financier et aux formes de sa reconnaissance juridique. Mais, dès lors que ces institutions sont resituées dans leur contexte, il s'agit d'analyser les interactions avec les sociétés dans lesquelles elles évoluent, ce qui amène à raisonner en termes de viabilité financière, institutionnelle et sociale.



► Figure 1. Adéquation public-produit-institution

● La viabilité financière

Elle reprend les différents facteurs de l'équilibre comptable mais essaye de les mettre en perspective. Les impayés ne sont pas simplement des montants à provisionner, mais doivent être interprétés. Viennent-ils d'une mauvaise rentabilité des objets financés, d'un calendrier d'octroi et de remboursement inadapté, d'un «détournement» de l'objet officiel de crédit, d'une volonté de non-remboursement parce que l'institution est perçue comme extérieure, fonctionnant avec l'argent de l'Etat ou des bailleurs de fonds ?

Même s'il existe encore quelques réticences chez certains agronomes ou économistes, un consensus semble se dégager sur les conditions de l'équilibre financier. Il faut un volume d'affaires suffisant, en régime de croissance, pour couvrir les frais fixes (principe du point mort), un différentiel relativement important (au minimum de dix points) entre le coût de la ressource (épargne, ligne de crédit, capital) et le coût du crédit, une bonne maîtrise des charges, un taux très faible d'impayés et de détournements.

Les principaux débats ont bien sûr porté sur les taux d'intérêt. C'est un point de controverse habituel entre les «développeurs» et les spécialistes des systèmes financiers. Pour les premiers, le taux d'intérêt sur le crédit doit être le plus bas possible, car la rentabilité des investissements agricoles est faible. Les seconds raisonnent en terme de différentiel, c'est-à-dire d'écart entre le coût de la ressource et le coût du crédit. C'est aussi le raisonnement des paysans dans les COOPEC, où ils décident souvent une rémunération très faible de l'épargne pour avoir des taux de crédit peu élevés, ou dans les caisses villageoises qui ont des taux d'épargne et de crédit très supérieurs aux normes bancaires habituelles (10 % de rémunération de l'épargne sur 6 mois et 20 % de taux d'intérêt sur six mois).

Produits bancaires, charges et résultat

Produit bancaire : (1) = (a) + (b) + (c)

(a) : intérêts reçus sur les prêts réalisés (déterminés par les taux débiteurs)

(b) : intérêts reçus sur les placements en banque

(c) : commissions et autres frais payés par la clientèle

Charges bancaires : (2) = (d) + (e)

(d) : rémunérations versées à la clientèle sur les dépôts et l'épargne (déterminées par les taux créditeurs)

(e) : intérêts payés sur les lignes de crédit empruntées

Produit net bancaire (PNB) : (3) = (1) – (2) (il exprime le résultat de l'activité bancaire)

Résultat : (4) = Produit Net Bancaire (3) – Charges de fonctionnement (frais fixes (f)) – Risques (frais variables (g))

Le raisonnement financier s'appuie sur quatre constats :

- > pour la majorité des crédits demandés par les paysans pour des activités de commerce, transformation, services... la rentabilité de l'opération est forte et les frais financiers ne constituent qu'un pourcentage faible des charges ;
- > les ruraux sont habitués à des taux élevés, de l'ordre de 5 à 10 % par mois ou 100 % pour les prêts en nature de semences ou de soudure. Ils trouvent tout à fait supportables des taux de l'ordre de 2 à 3 % par mois ;
- > ce qui intéresse les bénéficiaires est, avant tout, l'accès au crédit et de manière secondaire le taux d'intérêt. Généralement lorsqu'ils empruntent pour financer des activités productives, celles-ci supportent les taux proposés. Encore faut-il s'assurer que les taux annoncés ne cachent pas des taux effectifs supérieurs pour l'emprunteur. Les modalités de remboursement proposées et les types de prélèvement à la source peuvent renchérir le coût annoncé du crédit, dans certains cas du simple au double. La pratique du remboursement échelonné, hebdomadaire ou mensuel, avec calcul de l'intérêt sur le capital restant dû, permet de réduire le coût réel du crédit pour l'emprunteur. Avec cette méthode de remboursement mensuel, par exemple, un taux nominal annuel de 36 % (3 % par mois) correspond à une charge financière effective de 21 % par rapport au montant emprunté ;
- > les charges, à cause d'un grand nombre de crédits de faibles montants, très dispersés géographiquement et les risques, liés à l'absence de garanties matérielles réalisables, sont très élevés pour la gestion de ces crédits. Ceci explique le manque d'intérêt des banques et rend indispensable un différentiel conséquent, presque toujours supérieur à 15 % même dans une organisation efficace. Cette contrainte est particulièrement forte en Afrique, où, par rapport à l'Asie, les densités de population sont beaucoup plus faibles (souvent dans un rapport de 1 à 10) et le niveau des salaires plus élevé.

● La viabilité institutionnelle

Elle ne limite pas son approche au statut juridique mais s'intéresse à la qualité de l'organisation de chaque institution, à l'organisation générale et à la régulation du secteur de la microfinance. Il s'agit des conditions d'agrément des projets, des organisations non gouvernementales et autres organisations pour collecter l'épargne et faire du crédit.

Il s'agit également de l'observation par tous les intervenants d'un code de déontologie minimal. Le risque actuel est en effet que la législation et le contrôle de la Banque centrale s'exercent uniquement sur les institutions financières agréées, en leur créant éventuellement des contraintes supplémentaires. Si d'autres interventions, plus laxistes (au niveau des taux de remboursements et des taux d'intérêt), voire parfois frauduleuses, peuvent continuer à se développer, les mauvais systèmes financiers risquent de chasser les bons, par leur capacité à offrir (de manière évidemment non durable) des crédits à faible taux d'intérêt qu'il est possible de ne pas rembourser.

Pour remédier à ce problème inquiétant, certains pays ont mis en place un cadre de concertation, réunissant les ministères concernés, les opérateurs et institutions financières et les bailleurs de fonds. Ce cadre de concertation permet de définir un plan national à moyen terme pour le développement de la microfinance. Il définit des actions communes, des lieux de concertation au niveau national et régional et l'organisation de la concurrence (par exemple une centrale des risques²). Ils peuvent également définir des conditions d'entrée et d'appuis éventuels (du type parrainage) des nouveaux acteurs. Ces cadres de concertation et plans de développement ne deviennent réellement opérationnels que si un noyau restreint d'institutions financières spécialisées se constitue en association professionnelle, reconnue par les autorités administratives et les bailleurs de fonds. Ceci permet également de discuter de la répartition des pouvoirs entre Etat, bailleurs de fonds et associations professionnelles pour faire respecter les règles définies d'un commun accord.

● La viabilité sociale

● La viabilité interne

Elle s'intéresse à la convergence, à la compatibilité ou au compromis entre les intérêts et les normes des différents acteurs concernés. Quand elle existe, ceux-ci considèrent l'institution financière comme leur propre affaire.

Les modalités d'épargne et de crédit ont été élaborées avec les intéressés et ne sont pas en contradiction avec les normes culturelles de la société comme la conception de l'argent, du temps, du taux d'intérêt...

Les différentes formes de garanties, matérielles ou sociales, utilisant à la fois la solidarité, les pressions sociales, le sens de l'honneur, sont acceptées et efficaces.

L'accès aux services financiers est suffisamment ouvert à toutes les couches de la société pour permettre aux éléments dynamiques, notamment les femmes et les jeunes, d'être satisfaits et d'éviter la mainmise de quelques «notables» ou gros entrepreneurs sur l'essentiel des ressources.

Les responsables élus sont considérés comme légitimes, les abus de pouvoir sont limités et les conflits sont réglés selon un mélange subtil de normes anciennes et nouvelles.

Les techniciens et les divers salariés «se sentent à l'aise», au niveau des salaires et avantages annexes, de leur qualification et de leur reconnaissance sociale.

Il existe un rapport équilibré de collaboration et de spécialisation entre les élus (ou les représentants des bénéficiaires) et les techniciens salariés, assurant un équilibre des pouvoirs, sans prépondérance de l'une des parties sur l'autre.

² Le partage par les institutions financières de l'ensemble de leurs emprunteurs en impayés, de façon à éviter les effets de contagion.

● **La viabilité externe**

La viabilité externe permet que l'institution n'apparaisse pas comme un corps étranger venu de l'extérieur. Elle s'insère dans son environnement. Grâce à une large information et de nombreuses discussions, les personnalités ou institutions externes comme les autorités politiques et administratives, les responsables religieux, les notables divers, voire les usuriers, soutiennent l'institution. Du moins, ils n'ont pas les moyens suffisants pour la contrecarrer ou s'y opposer ouvertement. Par ailleurs, une bonne liaison s'est établie avec les autres interventions de développement telles la vulgarisation agricole, la formation technique ou le conseil de gestion, les infrastructures, les systèmes d'approvisionnement et de commercialisation afin d'assurer une synergie entre le facteur financier et les autres fonctions. Enfin, un cadre de concertation et de régulation a été créé auquel participent l'Etat, les bailleurs de fonds et les divers opérateurs.

LES SPÉCIFICITÉS DU CRÉDIT RURAL

● **La diversité des situations**

Suivant les régions et leur histoire, les agriculteurs ont recours à des modes de faire-valoir qui nécessitent plus ou moins de capitaux. La diversité des combinaisons de facteurs de production dépend des agro-systèmes. Les structures économiques et sociales, le niveau de développement et le degré d'ouverture de l'économie globale jouent également un rôle important. Les besoins de crédit de l'agriculture et du monde rural varient donc considérablement suivant les situations. Ils entraînent des réponses plus ou moins adaptées à chaque situation et suscitent l'émergence d'institutions différentes suivant les contextes.

Deux types de systèmes de financement en Afrique de l'Ouest

Dans le cas de l'Afrique de l'Ouest, deux réalités agraires très contrastées favoriseront l'émergence, par exemple, de deux systèmes de financement différents. En zone cotonnière, où la modernisation des systèmes de culture (utilisation d'intrants, mécanisation) peut s'appuyer sur l'existence d'une production de rente, le financement des exploitations paysannes sera plus ou moins imbriqué dans l'organisation de la filière coton. Le crédit intrant peut être géré directement par les sociétés cotonnières avec la caution de la commercialisation du coton. Les réseaux d'épargne-crédit exigent souvent l'aval des groupements de producteurs de coton pour octroyer un prêt à leurs membres. Par contre, dans des zones enclavées et soumises aux aléas climatiques comme les zones sahéliennes, la diversification des activités, propres à limiter le risque climatique des agricultures familiales, repose sur l'existence d'un système de crédit ouvert et de libre disponibilité. Celui-ci, comme les caisses villageoises, peut financer un grand nombre d'activités différentes comme l'élevage, le petit commerce ou l'artisanat.

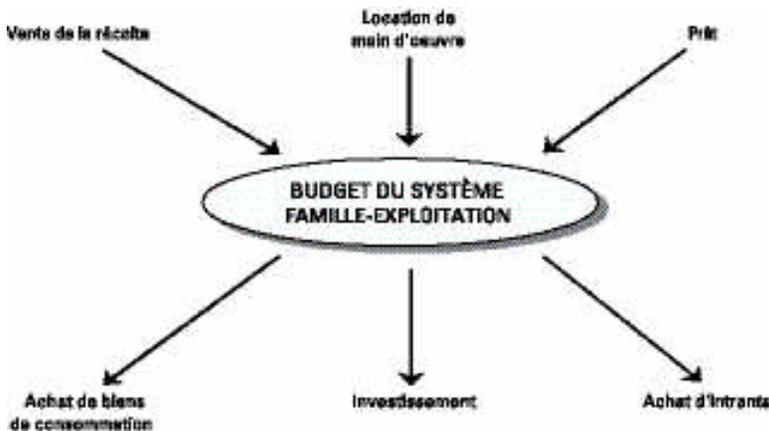
● **La «fongibilité» du crédit**

Au sein d'une exploitation agricole, le crédit, qui constitue une anticipation sur les revenus à venir, est utilisé à diverses fins, suivant les circonstances, les contraintes de trésorerie et les objectifs de l'exploitant et de sa famille.

On parle souvent, à l'instar des anglo-saxons, de « fongibilité » du crédit (*fongibility*) dans l'ensemble des flux de trésorerie, c'est-à-dire de la difficulté d'affecter directement un emploi aux ressources correspondantes.

Du point de vue de la gestion du capital, les exploitations paysannes sont des unités de gestion complexes qui regroupent souvent une ou plusieurs unités de production, de consommation et d'investissement (cf. chapitre 31). Une famille élargie regroupée sous le même toit peut par exemple correspondre à plusieurs sous-systèmes de production (les champs du mari et des co-épouses) et à différents ménages (les enfants mariés qui préparent leur installation). Les budgets sont plus ou moins étanches ou segmentés, mais l'analyse des flux doit prendre en compte ces unités et leurs opportunités d'utilisation des ressources, qui combinent différents objectifs.

La fongibilité du crédit associée à la complexité de la gestion des exploitations paysannes rendent particulièrement difficile l'encadrement du crédit et son orientation vers certains objets liés, par exemple la modernisation des systèmes de production. On est ainsi amené à raisonner en termes de crédit ouvert, de libre disponibilité et sans affectation particulière définie à priori. Les montants sont estimés en fonction de la capacité d'endettement de l'unité économique (part du revenu disponible dédié au remboursement des emprunts).



► Figure 2 : La fongibilité du crédit

● Les organisations paysannes et le crédit

Dans certains pays, les institutions de financement rural renforcent leurs synergies avec les organisations de producteurs, allant jusqu'à être dénommées « banques des organisations paysannes ». Dans ce cas, le réseau sert de canal à des programmes d'investissement (magasins, bascules) au niveau des unions de producteurs, renforçant la structuration du milieu et l'organisation des filières. Le réseau compense, en partie, la faiblesse de l'implantation du secteur bancaire en milieu rural et l'absence d'alternative de financement qui s'y manifeste. Il doit, surtout dans le cas d'organismes mutualistes (COOPEC par exemple), disposer d'une totale autonomie de décision en matière de crédit. Dans le cas de structures composées d'élus des mêmes villages, cet aspect

peut poser un problème de conflit d'intérêt ; celui-ci peut en partie être limité par un contrôle croisé au sein de caisses couvrant plusieurs villages.

● Les différents types de crédit

● Le financement de la trésorerie

Les activités rurales ont un caractère saisonnier plus ou moins marqué. La plupart du temps, les périodes de dépenses et de recettes ne coïncident pas, ce qui nécessite de recourir à des financements externes pour combler les déficits de trésorerie. Comme le soulignent les paysans, « l'argent n'a pas la même valeur tout le temps » et les opportunités d'investissement en milieu rural sont liées aux activités saisonnières. Ce type de financement correspond donc le plus souvent à du crédit court terme, en général inférieur à un an.

Dans le cas du crédit de campagne agricole ou du crédit rural, les octrois sont débloqués en début de cycle et un différé de quelques mois est introduit. En Guinée, l'expérience du crédit rural montre que, dans la plupart des zones de l'intérieur, l'activité est presque exclusivement réduite à l'agriculture et les ressources monétaires proviennent de la récolte, six mois après déblocage du prêt.

Tableau 1. Les protocoles du crédit rural de Guinée

	Crédit rural solidaire	Crédit agricole solidaire
Nature du crédit	Des crédits aux activités génératrices de revenus réguliers de commerce, d'artisanat ou de services	Des crédits à l'agriculture et au petit élevage
Type d'emprunteurs	Petites commerçantes, petits artisans des centres-urbains (villes secondaires)	Petits agriculteurs, planteurs, éleveurs ou maraîchers
Objets du prêt	Défini par l'emprunteur et soumis au contrôle du groupe et à l'agent de crédit	
Taux d'intérêt	2,5 % par mois sur le capital restant dû	
Plafonds	500 000 GNF (2 500 FF)	200 000 GNF (1 000 FF)
Prélèvements	2 000 GNF (10 FF) de parts sociales 2 % de frais de dossier 5 % du montant octroyé d'épargne de garantie	
Dates d'octroi	Toute l'année	Février à juillet suivant les régions
Durée	12 mois	7 à 12 mois
Modalités de remboursement	11 échéances de montant constant après le 2 ^{ème} mois	3 échéances après un différé de 5 à 8 mois
Fonds d'assurance	1 % pour couvrir les cas de décès et d'invalidité permanente	
Garantie	Moralité Groupe de caution solidaire de 5 personnes de familles différentes et se cooptant librement Suspension du crédit au niveau du quartier si impayés	Moralité Groupe de caution solidaire de 5 à 10 personnes se cooptant librement Suspension du crédit au niveau du village si impayés

Afin de ne pas contraindre l'emprunteur à vendre ses produits dès la récolte, au moment où les dépenses sociales sont élevées et les prix agricoles déprimés, les

remboursements sont échelonnés, de façon à permettre des conditions de commercialisation plus favorables. Ce type de crédit peut, avec des calendriers adaptés, s'appliquer à des crédits d'embouche pour des petits ruminants ou pour l'engraissement de porcelets.

D'autres types de crédit à court terme visent à couvrir les périodes de soudure et à éviter la décapitalisation. Certains crédits de soudure, ou crédit de dépannage en cas de dépense imprévue comme une maladie au niveau de la famille, sont gérés sous forme de prêts individuels de petits montants, débloqués très rapidement.

D'autres types de crédit peuvent permettre de stocker les récoltes qui servent alors de garanties sous forme individuelle ou collective, comme le financement des banques de céréales ou le crédit grenier villageois des caisses mutuelles de Madagascar (CECAM).

Les paysans vendent souvent leur paddy à la récolte pour faire face aux dépenses familiales, mais doivent le racheter quelques mois plus tard à des prix qui ont parfois doublé. Le crédit de stockage permet, sur la base de stocks de riz conservés dans les villages, de financer les activités de contre-saison et de revendre le riz cinq à huit mois plus tard, alors que les prix peuvent augmenter de 40 à 130 % suivant les années.

● L'équipement de l'exploitation et les investissements

Les systèmes de crédit rural démarrent souvent leurs activités par du crédit à court terme. Celui-ci permet d'introduire une certaine progressivité dans la structuration des systèmes de crédit et dans la complexité de leur gestion. Il est également plus adapté aux logiques économiques des exploitations paysannes qui, dans un univers incertain, peuvent s'efforcer de limiter la durée de leurs engagements financiers et manifester une certaine préférence pour la liquidité.

Au-delà du cycle d'activité, se pose néanmoins la question du financement de l'équipement et des investissements de l'exploitation paysanne. Il est en effet souvent reproché aux institutions de microfinance d'apporter seulement des améliorations modestes par les prêts de campagne en négligeant les investissements structurants.

Caisses d'épargne-crédit au Bénin

Au Bénin, la Fédération des caisses d'épargne et de crédit agricole mutuel alloue près d'un tiers de son portefeuille à du crédit moyen terme, entre 12 et 36 mois. L'essentiel de ce volume est destiné au financement de la culture attelée (paire de bœufs, charrue, charrette pour le transport) et à l'amélioration de l'habitat dans les zones de production du coton, c'est-à-dire dans un environnement économique stabilisé. L'accès au crédit est conditionné à la caution du groupement villageois qui gère la commercialisation du coton. Une partie de l'épargne du groupement est bloquée pour couvrir le risque et ce dernier ne doit pas comprendre de membres qui ont des crédits impayés. Les montants par équipement sont assez réduits (moins de 500 000 F CFA), le taux d'intérêt est de 16 % par an et les remboursements se font par échéance annuelle.

Le réseau collecte de l'épargne sur livret à court terme et la législation interdit, comme dans la plupart des pays, aux institutions financières non bancaires de transformer des ressources court terme en emplois à moyen et long terme (risque de liquidité). Aussi, le crédit à moyen et long terme se fait grâce à des lignes de crédit extérieur, ce qui pose souvent des problèmes de coûts et de risques de change. Il peut s'asseoir également sur la collecte de ressources longues grâce à de nouveaux produits d'épargne comme les plans épargne-investissement ou des dépôts à terme.

Dans certains cas, des investissements à rentabilité différée comme la rénovation de plantations ou la constitution de troupeaux peuvent être réalisés par petites tranches, grâce aux revenus induits par le financement à court terme des activités annuelles.

Par exemple, en Guinée forestière, le crédit campagne permet d'acheter intrants et main-d'œuvre pour les cultures annuelles de riz et d'arachide. Avec les suppléments de récoltes, les petits planteurs améliorent la consommation familiale et acquièrent également des plants de variétés améliorées de café et financent la main-d'œuvre pour rénover leur caféière d'un quart d'hectare environ chaque année.

Tableau 2. Effet du crédit court terme sur la rénovation de la plantation d'un petit producteur de café (illustration en Guinée forestière)

		Sans crédit		Avec crédit	
		Entrées	Sorties	Entrées	Sorties
Solde initial		5	0	5	0
Agriculture	Café	390	250	390	250
	Arachide	220	120	330	160
	Riz	80	80	120	120
Investissements (main d'œuvre, plants)		0	0	0	40
Consommation	Nourriture		80		90
	Ecolage		80		80
	Vêtements		80		80
Endettement	Principal	0	0	100	100
	Intérêts				20
Solde final			5		5
Total des flux cumulés		695	695	945	945

L'achat d'intrants et de main d'œuvre pour le riz et l'arachide avec le prêt de 100 000 GNF (soit 500 FF) permet, grâce au supplément de récolte, d'améliorer la consommation familiale et de financer le renouvellement de 0,25 ha de plantation.

Un crédit calé sur le cycle du café aurait nécessité un crédit étalé sur une période de 4 à 6 ans :

- financement de la défriche, de la plantation et des sarclages en année 1,
- entretien (sarclage et fertilisation) en années 2 et 3,
- remboursements étalés à partir de l'année 4, première année de récolte.

● **Le crédit rural et les structures d'exploitation**

Dans les économies agraires tropicales, il est très rare que des institutions de crédit rural aient mis en place des protocoles permettant de financer les structures d'exploitation.

Ce phénomène s'explique soit par l'absence de système d'enregistrement des droits fonciers qui permettrait de constituer des garanties hypothécaires fiables (cas de la plupart des pays d'Afrique ou des pays en « transition » où la propriété est issue de processus de réforme agraire contestée), soit par l'absence de politiques agraires sur les structures d'exploitation.

Dans certains pays d'Amérique latine où la question agraire est devenue un véritable enjeu socio-politique (Nicaragua, Colombie, Brésil), ce type de crédit est mis en place à l'initiative d'organisations paysannes ou d'ONG à partir de fonds privés, mais n'entre pas dans le cadre d'une politique publique.

En revanche, on remarque parfois que le crédit rural peut influencer les dynamiques foncières. Par ses effets sur la diversification des activités et sur les revenus dans les zones dégradées comme les terres de barre du Sud Bénin, l'accès au crédit peut permettre d'enrayer le processus de décapitalisation et, en dernier ressort, de vente de terres. Le crédit de campagne peut également transformer les modes de faire-valoir et permettre aux agriculteurs de se désengager de relations de métayage trop contraignantes (métayage à moitié), pour louer des parcelles grâce au crédit. Enfin, des modalités de crédit spécifiques peuvent permettre aux agriculteurs de financer l'enregistrement de leurs parcelles au cadastre et d'éviter toute appropriation abusive, comme cela se produit dans certaines zones de Madagascar ou sur les terres des anciennes coopératives de réforme agraire parcellisées au Nicaragua.

● **Les risques et la sécurisation du crédit rural**

Le risque en agriculture est lié à un grand nombre d'évènements d'ordre climatique, physique, humain ou économique, dont la caractéristique est de présenter une occurrence irrégulière et relativement temporaire. Au niveau du crédit rural, les risques³ peuvent être inhérents à l'activité de crédit (défaut de paiement ou impayés), liés à un certain type de public (risques familiaux propres à des populations précarisées) ou à l'activité financée (risque climatique et économique).

La gestion de ces différents risques conditionne la pérennité des services financiers. Quand la viabilité de l'institution n'est pas remise en cause, la maîtrise des différents types de risques conditionne son efficacité et, par le jeu des provisions, le coût du crédit.

● **La maîtrise des impayés et les modes de garanties**

Au-delà des principes généraux déjà abordés ci-dessus (adéquation public-produit-institution), la véritable garantie face au risque d'impayé est la viabilité de l'activité financée. Comme l'institution de crédit ne peut avoir une connaissance totale de ses résultats, différentes formes de garantie pourront renforcer l'engagement pris par l'emprunteur.

● **Les garanties morales**

Les garanties essentielles du bon remboursement sont de nature morale, quand existe une connaissance directe de chaque emprunteur, de sa situation économique, de ses activités et de sa réputation vis-à-vis des engagements pris. Elles font appel à une grande proximité entre centres de décision de l'institution de crédit et emprunteurs.

³ Le terme est pris dans un sens restrictif et n'aborde pas les risques financiers comme le risque de liquidité ou le risque de transformation.

● **Les garanties sociales**

Des garanties de type social peuvent exister, soit par aval ou parrainage d'autres emprunteurs, de représentants élus ou d'instances villageoises, soit par l'organisation de groupes de caution solidaire. Pour être effectif, ces groupes, en général de cinq à dix personnes, doivent être organisés par des emprunteurs qui se choisissent librement en fonction de liens de confiance existant entre eux.

● **Les garanties matérielles**

Le plus souvent, les garanties mobilisées sont des garanties matérielles : hypothèque ou nantissement d'un équipement ou d'un bien comme une parcelle ou une habitation, délégation de salaires (fonctionnaires ou salariés), *warrant*⁴ sur les récoltes stockées, etc. Encore faut-il que, dans l'environnement local, ces garanties soient «réalisables» et que leur mobilisation, notamment quand il faut avoir recours au système judiciaire, soit relativement sûre et d'un coût non prohibitif.

Quand le système de crédit est socialement bien inséré, les garanties matérielles reposent parfois sur la mobilisation directe des autorités coutumières, comme les conseils villageois qui peuvent, dans le cas des caisses villageoises, aller saisir les plantations ou les greniers familiaux des emprunteurs en retard.

Souvent, ces garanties reposent également sur des «transactions liées» quand le crédit est associé à un échange de type commercial qui permet au prêteur, une société commercialisant les récoltes par exemple, de prélever le remboursement directement à la source, avant le paiement de l'emprunteur.

Une dernière forme de garantie matérielle peut être la mise en gage d'une épargne préalable, bloquée sur un compte au niveau de l'institution financière. Cette épargne est alors directement prélevée en cas de retard dans les remboursements. La constitution de cette épargne préalable peut rendre l'accès au crédit difficile pour les catégories de paysans les plus décapitalisés ou pour certains agents économiques, comme les petites commerçantes qui préfèrent faire tourner leur fonds de roulement dans leur activité.

Enfin, des tentatives de fonds de garantie, destinés à compenser une partie des risques d'impayés ont parfois été mises en œuvre par les projets de développement. Mais, comme l'illustre l'encadré, ces fonds ont souvent servi d'*oreiller de paresse* aux institutions financières et n'ont, en général, pas permis d'apporter des réponses durables aux problèmes de crédit rural.

⁴ Selon A. Neuveu, un *warrant* est « un gage sur un produit fongible qui, habituellement, doit être déposé dans un magasin général. Par exception, les produits agricoles peuvent être conservés sur l'exploitation ».

Du bon usage des fonds de garantie

Pour étendre leurs actions et mieux s'insérer dans le système financier, les institutions de microfinance ont fréquemment besoin d'utiliser le refinancement bancaire. Celui-ci est souvent difficile car les banques connaissent mal le fonctionnement de ces nouvelles institutions.

Pour faciliter ces liens entre banques et institutions de microfinance, des fonds de garantie ou des lettres de garantie bancaire ont été souvent établis par les bailleurs de fonds ou des opérateurs de développement. Le fonds garantit un pourcentage de l'emprunt (souvent 100 % pour commencer) selon des modalités fixées entre les parties : dégressivité de la couverture, part du risque couvert (capital, ou capital et intérêts ou pénalités en sus), règles de partage du risque (pour une garantie à 50 % par exemple, le garant couvre les défauts à concurrence de 50 % ou garant et prêteur se partagent les pertes à part égale).

Les fonds de garantie ont été largement utilisés par toutes les formes de financement : volets crédit des projets, gestion des filières de production de rente, et plus récemment, institutions de microfinance... Les résultats ont été le plus souvent décevants : le fonds sert de matelas pour amortir une mauvaise gestion et s'érode rapidement. Les banques, confortablement couvertes, ne cherchent pas à connaître leurs nouveaux clients ni à développer le nouveau marché auquel elles avaient déclaré s'intéresser : elles ont une approche laxiste. Les emprunteurs, inconsciemment ou consciemment, estiment que le mécanisme est conçu pour les protéger des aléas de leur entreprise, ce qui affecte leur discipline financière. L'institution qui a mis en place des garanties assiste souvent indifférente à l'érosion du fonds.

Le fonds de garantie est souvent conçu, en dehors des bénéficiaires, comme pièce rapportée externe pour répondre de manière simpliste à l'absence de garanties réelles de la part des emprunteurs. Cependant, il ne faut pas abandonner le mécanisme au prétexte qu'il a souvent été mal conçu et mal géré. Un bon système de garantie doit faciliter une relation directe entre emprunteurs et institution financière et répondre aux critères suivants :

- le fonds de garantie doit être lié aux réalités sociales et professionnelles des emprunteurs ;
- le risque doit être partagé entre les trois parties qui toutes doivent trouver un intérêt à défendre l'instrument : emprunteurs, prêteurs, garants. Les trois seront impliqués à la conception, contribueront financièrement à la constitution du fonds, et auront à y perdre en cas de mauvaise application. Un cas développé avec succès au Honduras est celui d'un fonds de caution mutuelle établi par un groupe d'emprunteurs (associations de petits producteurs de café), un consortium de banques et une institution de garantie (privée ou étatique) ;
- les règles doivent être claires et précises. Elles doivent envisager tous les cas de figure de mise en œuvre du fonds avec des hypothèses chiffrées sur les conséquences pour toutes les parties ;
- la gestion d'un fonds de garantie a un coût que les trois parties doivent supporter conjointement.

● Les risques familiaux, l'épargne et les mutuelles

Les économies familiales en situation précaires sont très sensibles aux problèmes de santé des différents membres de la famille. Une maladie ou un accident engendre des coûts élevés (médicaments, soins, hospitalisation) et réduit souvent la main d'œuvre disponible. Ces aléas peuvent réduire à néant les projets permis par l'accès à un crédit. Parfois, les difficultés économiques qu'ils occasionnent engendrent des problèmes de remboursement, voir une décapitalisation de l'exploitation familiale. Des enquêtes d'impact sur plus de 1000 emprunteurs de réseaux de financement rural dans trois pays d'Afrique (Bénin, Burkina Faso et Guinée) ont montré que près de 20 % des crédits contractés n'engendraient pas de bénéfices en raison de ces difficultés.

Face à ces risques, les institutions de financement rural ont souvent mis en place des fonds d'auto-assurance (ou fonds de solidarité).

Ces fonds, prélevés lors de l'octroi des prêts⁵, permettent de couvrir les défauts de paiement liés aux décès ou à l'invalidité des emprunteurs. S'ils préservent la viabilité des systèmes financiers, ils ne répondent pas aux difficultés traversées par les économies familiales.

La mise en place d'un service d'épargne est une autre solution. La constitution d'une épargne liquide, sur livret ou compte d'épargne à vue, permet de disposer d'une réserve mobilisable à tout moment, pour faire face aux dépenses exceptionnelles ou à une baisse inattendue des revenus familiaux. La réussite de cette fonction «d'épargne-assurance» dépend de l'adéquation des modalités d'épargne retenue (sécurité, liquidité, confidentialité, rémunération, etc.) et de la confiance qu'inspirera, auprès des paysans, l'institution qui la gère.

Plus récemment, et dans le prolongement des pratiques informelles des «caisses de secours ou caisses villageoises», différents systèmes d'assurance santé ou de mutuelles de santé se développent à titre expérimental en milieu rural. Ils ont pour objectif, dans des zones où existe une certaine solvabilité, de sécuriser les économies familiales en permettant de faire face aux dépenses de santé, en évitant la décapitalisation et en encourageant l'accès aux soins.

Ennathien Moulethan Tchonnebat (EMT)

Une institution de financement rural au Cambodge, EMT, créée suite à un programme du GRET, propose par exemple un premier niveau de service reposant couvrant les risques facilement identifiables (décès, amputations, certaines opérations) en contrepartie de cotisations individuelles. Elle réfléchit à la définition d'un système d'assurance étendue avec services complémentaires (indemnisation forfaitaire) et aide à l'accès aux soins via des visites médicales, le recours d'un médecin traitant à domicile et la prise en charge du transfert à l'hôpital.

● **Les risques climatiques et l'épizootie**

Le risque climatique ou, pour l'élevage, les épizooties restent des obstacles importants au crédit à l'agriculture, plus ou moins importants suivant les agrosystèmes et les types d'exploitations paysannes.

Une première façon d'en réduire la portée est d'encourager la diversification des activités, comme l'illustrent les trajectoires paysannes en zone sahélienne. Dans ce cas, l'accès à un crédit «ouvert», de libre disponibilité et permettant aux emprunteurs de financer toutes les activités génératrices de revenus, est un moyen de réduire ce type de risque. La diversité des objets de crédit financés en est une bonne illustration : agriculture pluviale, petit élevage, transformation des produits agricoles, commerce local de nombreux produits, artisanat, etc.

Des fonds de garantie, des systèmes d'assurance-récolte ou assurances agricoles ont parfois été mis en place, souvent en lien avec le crédit agricole, mais, comme il a pu être souligné pour les fonds de garanties, les expériences sont très mitigées et dépendent étroitement de leur conception et des modalités de mise en œuvre.

Dans le cas des assurances agricoles, l'expérience du Mexique est une bonne illustration des différents problèmes existants.

⁵ Un prélèvement autour de 1 % des montants octroyés en général suffit à couvrir ce risque.

ANAGSA au Mexique, un système d'assurance agricole

Un système d'assurance avait été mis en place dans le cadre d'une société d'Etat, ANAGSA. Lors de l'accès à un prêt de la banque de développement, un contrat d'assurance était obligatoirement souscrit, ce qui a permis au système de couvrir, dans les années 70-80, une proportion très importante des surfaces cultivées. Rapidement, par collusion entre inspecteurs et agriculteurs, l'assurance s'est transformée en moyen d'échapper au remboursement et a conduit au transfert sur le budget de l'Etat des pertes encourues⁶. La liquidation de ANAGSA en 1989 a laissé, dans un premier temps, les producteurs agricoles sans recours face à ce risque. Dans les années 90, une nouvelle approche de fonds d'auto-assurance est mise en œuvre. Elle repose sur la constitution de fonds constitués par les cotisations des agriculteurs et gérés par des organisations paysannes (coopératives, unions de crédit, etc.). Ces fonds sont réassurés par une compagnie d'assurance, AGROASEMEX. Cette approche, basée sur une implication forte des paysans et de leurs organisations, a connu un succès relativement important (142 fonds en 1993) et permet de protéger, en partie, les agriculteurs des risques de récolte. Néanmoins, elle reste circonscrite aux zones relativement favorisées (zones irriguées du nord du Mexique notamment) et couvre moins de 3 % de la surface cultivée du pays.

En l'absence de ce type de dispositif, les institutions financières sont amenées à gérer les risques climatiques de façon très pragmatique. Après des catastrophes comme les inondations fréquentes en Asie du Sud ou les cyclones en Amérique centrale, le risque qui touche l'ensemble des emprunteurs peut parfois remettre en cause la viabilité financière de l'institution.

On parle alors, à une échelle donnée, de risques *covariants*. Ils peuvent être amenés par la couverture géographique plus ou moins importante de l'institution et sa capacité, parfois en partie relayée par le système bancaire, à assurer des transferts de ressources ou des compensations d'une région à l'autre. Pour les emprunteurs sinistrés non couverts par des systèmes d'assurance, la capacité de récupération repose souvent sur une combinaison habile entre crédits-dépannage destinés à relancer les activités économiques et rééchelonnement de dettes permettant de réduire le surendettement occasionné par la chute brutale des revenus monétaires liée aux calamités naturelles.

● **Les risques économiques**

D'autres aléas de type économique peuvent survenir et affecter les revenus monétaires des paysans : problèmes d'approvisionnement, chute de prix, saturation des marchés et difficultés d'écoulement des produits, problèmes de transport et de mise en marché, etc. La viabilité des institutions de crédit rural sera alors renforcée par la plus ou moins grande sécurisation de l'environnement technico-économique des agricultures paysannes.

Cette dernière résulte d'une combinaison de facteurs, allant des politiques agricoles (soutien des prix agricoles, etc.) aux actions de développement permettant d'améliorer les infrastructures et l'économie locales (cf. chapitres 31 et 32). À ce dernier niveau, jouent souvent les synergies entre projets de développement et institutions financières rurales.

⁶ 60 % des surfaces déclarées sinistrées entre 1980 et 1988, montant des primes d'assurance équivalent à 4 % de la valeur assurée et remboursement total correspondant à 15 fois le montant des primes.

En général, les environnements les plus favorables restent encore souvent les zones où dominant des filières structurées et organisées, comme la filière coton en Afrique de l'Ouest ou des zones très dynamiques, comme les périphéries urbaines, où existe une forte demande diversifiée et où les circuits d'accès au marché restent courts et accessibles directement aux producteurs.

Enfin, au niveau des exploitations paysannes, certaines approches, menées à titre expérimental comme le conseil en gestion, s'efforcent d'améliorer la maîtrise de l'environnement par les exploitants et de mettre en œuvre des outils d'aide à la décision, tels que l'élaboration de plans de développement.

LA VIABILITÉ DES INSTITUTIONS DE FINANCEMENT RURAL

Depuis une quinzaine d'années, la conception étroite du crédit agricole s'est considérablement élargie au profit d'un champ nouveau et diversifié autour des problématiques de financement rural. Même si le financement spécialisé comme celui des filières reste important en volume, le rôle du secteur autonome est de mieux en mieux reconnu et s'accompagne de l'émergence d'un nouveau secteur intermédiaire diversifié. Autour de cette évolution, deux grandes questions subsistent.

La première touche au rôle que le secteur intermédiaire sera capable de remplir. Au delà de l'échelon local, il s'agit de couvrir une large gamme de besoins aux niveaux régional et national. Il est donc nécessaire de réfléchir à l'extension des réseaux existants, aux stratégies de croissance et à leur diversification, avec les nouveaux problèmes qui en découlent : croissance contrôlée, maîtrise de la gestion, régulation de la concurrence, etc. L'essor rapide des institutions de microfinance s'accompagne de crises, voir même de faillites, qui viennent relativiser la capacité de ce secteur à répondre rapidement à l'ensemble des besoins de financement rural. Il s'agit, en effet, d'assurer la viabilité des institutions financières en limitant parfois la prise de risques et les coûts liés au financement de certains secteurs ou de zones géographiques.

Mais la viabilité des institutions de financement rural renvoie également aux conditions générales de l'activité agricole. Contrairement aux pays développés, la plupart des pays du Sud n'ont pas les moyens de subventionner l'ensemble des productions ou des investissements de leurs agriculteurs. Aussi faut-il permettre, par des politiques rurales adaptées, un certain soutien aux revenus des ruraux et à leur stabilité.

Bibliographie

- COLL., 1991 : *Finances et développement rural en Afrique de l'Ouest*, Actes du XII^{ème} séminaire d'économie rurale, CIRAD & Al., Ouagadougou.
- COLL., 1993 : *Systèmes financiers ruraux*, Dossier des Cahiers de la Recherche-Développement, n°34 & 35, CIRAD-SAR, Montpellier.
- COLL., 1996 : *Le financement décentralisé, pratiques et théories*, Dossier de la revue Tiers-Monde, n°145, janvier-mars 1996, IEDES-PUF, Paris, 238 p.
- CAHIERS DU CENECA, 1982 : *Le financement de l'agriculture*, Colloque international, Paris, 633 p.
- COMMISSION EUROPÉENNE, DIRECTION DU DÉVELOPPEMENT., 1999 : *Microfinance : orientations méthodologiques*, Commission européenne, 2^{ème} édition, Bruxelles, 162 p.
- DESAI M. B. & MELLOR J. W., 1993 : *Institutional Finance for Agricultural Development*, IFPRI, Washington D.C., 162 p.
- FAO, GTZ, 1998 : *Agricultural finance Revisited*. Tome 1 : *Agricultural Finance Revisited : Why ?*
Tome 2 : *Agricultural Finance Revisited : Getting the Policies Right*.
- FRASLIN J. H., 2000 : *Les CECAM de Madagascar, une institution mutuelle de crédit agricole*, miméo, FERT, 18 p.
- GENTIL D. & FOURNIER Y., 1993 : *Les paysans peuvent-ils devenir banquiers ?*, Syros, Paris, 271 p.
- OCDE, 1970 : *Le capital dans l'agriculture et son financement*, Paris, 126 p.
- PLATTEAU J. P.: *Droits fonciers, enregistrement des terres et accès au crédit*, in LAVIGNE DELVILLE P. (éd.), 1998 : *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ?*, Karthala, Paris, 744 p.
- PRACC, 1997 : *Impact des systèmes financiers décentralisés*, Secrétariat d'Etat à la Coopération, Paris, 154 p.
- TRUJILLO J. M. H., PÉREZ J. F. M. & MONTIEL M. R., 1997 : *Los fondos de seguro agropecuario en la estrategia de modernización del campo*, in Cuadernos Agrarios, n°15, Mexique, pp. 59-71.
- YARON J., 1997 : *Rural Finance : issues, design and best practices*, World Bank, Washington D.C., 164 p.

La formation, l'information, les centres de services

À partir des contributions de M. Brochet (CNEARC),
P. Debouvry, C. Fusillier (IRAM) et A. Maragnani
(ministère de l'Agriculture et de la Pêche)

LA FORMATION DES AGRICULTEURS ET AGRICULTRICES

● *Les concepts*

Acteur : individu ou groupe participant à une action et ayant des intérêts pour cette action.

Activités agricoles : ensemble des activités liées à la production, la transformation, le stockage, la commercialisation des produits agricoles et alimentaires qu'il s'agisse de produits d'exportation, de petites productions marchandes, d'auto-provisionnement ou d'autoconsommation.

Besoin de formation : écart entre les compétences nécessaires pour exercer une activité ou la mise en œuvre d'un projet de développement et les compétences réelles d'un individu à un moment donné.

Cahier des charges de la formation : document qui comporte les résultats attendus de la formation, les critères qui permettent de veiller à sa cohérence, les moyens qui seront mis en œuvre pour en assurer son déroulement.

Formation continue : formation ayant pour objet l'adaptation des travailleurs (emplois formels et informels) aux changements des techniques et des conditions de travail, de favoriser leur promotion et leur contribution au développement culturel, économique et social.

Ingénierie de la formation : ensemble de démarches méthodologiques articulées qui s'appliquent à la conception d'actions de formation pour atteindre efficacement un objectif fixé. Elle comprend : l'analyse des besoins de formation, l'élaboration d'un plan de formation, la conduite d'une action de formation (coordination et contrôle), l'évaluation des effets de la formation.

Ingénierie pédagogique : elle définit les objectifs, les progressions pédagogiques et les modalités d'apprentissage.

Ordonnateur : celui ou celle qui lance la commande de formation et en ordonne le paiement.

Plan de formation : document élaboré par une organisation (ministère, entreprise, organisme professionnel, ONG, groupement paysan, établissement de formation...) pour assurer la formation d'un public spécifique (agriculteurs, agricultrices, salariés d'exploitation, artisans...) pendant une période donnée.

Référentiel de compétences : liste de l'ensemble des capacités qu'il faut maîtriser pour exercer un type d'activités agricoles.

Référentiel de formation : liste de l'ensemble des objectifs de formation et des objectifs pédagogiques structurés en domaines, unités et modules.

Système agraire historiquement constitué : système de forces de production (système technique) historiquement constitué, durable, adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné et répondant aux conditions et aux besoins sociaux du moment.

Pour élaborer des actions de formation continue en agriculture, il faut partir d'un certain nombre de questions de base : pourquoi ? qui ? pour quels objectifs ? avec quels résultats ? comment ?

● **Former des agriculteurs, pourquoi ?**

● **Des activités agricoles en mutation**

L'exercice des activités agricoles est confronté à des évolutions profondes et extrêmement rapides sous l'influence de facteurs divers :

- > le développement d'une économie de marché ouverte aux échanges internationaux, imposant un accroissement de la productivité du capital ;
- > la décentralisation, mais aussi le désengagement et la baisse des moyens des Etats ;
- > la montée des densités démographiques mettant progressivement en cause la productivité des modes de gestion de l'espace et des ressources naturelles (fertilité des sols et biomasse des parcours) ;
- > l'urbanisation, avec ses conséquences sur le développement des circuits commerciaux, la transformation et la qualité des produits alimentaires et la productivité du travail des producteurs ;
- > l'insertion professionnelle d'un nombre croissant de jeunes, souvent plus instruits, ayant voyagé, notamment en ville, et aspirant à d'autres conditions de vie que leurs parents (eau, électricité, accès aux soins de santé primaire, à l'éducation, intégration au marché...)
- > le développement des organismes professionnels agricoles ;
- > l'exigence de prise en compte des problèmes d'environnement et de gestion de l'espace rural.

La formation continue des agriculteurs, ainsi que des autres acteurs du développement rural, doit leur permettre d'anticiper les changements et de maîtriser le processus d'augmentation des trois productivités (sol, travail, capital). Elle doit les aider dans la mise en œuvre de leurs projets.

● Les formations initiales et les formations continues

En formation initiale, les enseignements sont construits sur la base de programmes répondant à une logique de contenus disciplinaires. Cette logique aboutit à l'acquisition d'une somme de connaissances qui se justifie lorsqu'il s'agit de préparer les élèves à des diplômes attestant de l'atteinte d'un niveau de formation générale. Mais, pour des formations préparant à l'exercice d'activités professionnelles, l'acquisition de connaissances disciplinaires juxtaposées ne permet pas de faire face à la complexité et à la diversité des activités agricoles.

La formation des agriculteurs et agricultrices doit prendre en compte une combinaison souvent complexe de capacités. Les agriculteurs et agricultrices ont besoin de savoir raisonner le fonctionnement de leur exploitation dans les contraintes du milieu économique, technique, juridique, social et culturel et d'exercer des responsabilités dans des organisations paysannes. Pour cela, les agriculteurs ont besoin d'acquérir, non pas des solutions techniques toutes prêtes, mais des outils de compréhension et d'analyse de leur propre savoir, acquis le plus souvent par l'apprentissage familial et l'exercice d'activités agricoles. Il est nécessaire de créer des situations de formation qui vont permettre d'accélérer, par le raisonnement, les processus expérimentaux d'adaptation et de développement de ces savoirs.

Il faut donc construire les formations d'agriculteurs et d'agricultrices sur la base d'une logique d'acquisition des compétences propres aux activités agricoles et non pas d'une logique de contenus disciplinaires juxtaposés.

● Former sur la base des compétences professionnelles

L'exercice d'activités agricoles exige des compétences qui relèvent des trois domaines suivants :

- > *les savoirs* : ensemble de connaissances théoriques et pratiques ;
- > *le savoir-faire* : maîtrise d'outils ou de méthodes qui vont mettre en œuvre des savoirs ou des procédures de résolution des problèmes ;
- > *le savoir-être* : ensemble de comportements et d'attitudes attendus dans une situation donnée.

La compétence présente les caractéristiques suivantes : elle porte sur un contenu précis (semer une parcelle) ; elle est relative à une situation donnée, par rapport à une action et à son objectif (assurer l'approvisionnement familial) ; elle résulte d'une interaction entre plusieurs types de savoirs (connaissances, savoir-faire et savoir-être).

Si, dans la formation initiale, les connaissances sont privilégiées, les savoir-faire et savoir-être sont déterminants dans l'exercice des activités agricoles, l'élaboration et la conduite de projets. En effet, ceux-ci sont toujours composés d'un ensemble d'éléments, indépendants ou liés entre eux qui concernent non seulement les activités proprement dites à réaliser, mais aussi les contraintes à respecter, les aspects relatifs à l'organisation du travail, les relations avec l'environnement... C'est donc sur la base de l'étude de ce que les agriculteurs et agricultrices doivent être capables de faire dans la conduite de leurs activités et de leurs projets que seront définis les objectifs pédagogiques de formation.

● **Préparer l'action de formation**

Les nombreuses expériences de ces dernières années enseignent qu'il est difficile de se reposer sur les phénomènes d'auto-diffusion. Les concepts de «taches d'huile» ou de «formation en cascade» se sont révélés peu opérationnels en matière de développement rural. Il paraît aujourd'hui incontournable de réaliser des actions de formation qui accompagnent les actions de développement en s'adressant à des publics spécifiques, ce qui implique l'élaboration de plans de formation ciblés par type de public. Pour s'assurer des conditions de la réussite de l'action de développement et de la formation qui l'accompagne, une phase de diagnostic préalable est indispensable. L'idée force qui doit présider à l'élaboration de ce diagnostic est que la formation doit répondre à des problèmes concrets rencontrés par les acteurs sur le terrain.

● **Identifier le contexte et les acteurs**

L'une des premières difficultés sera d'identifier les différents acteurs et de comprendre la nature de leurs attentes, pour assurer leur participation à la construction d'une réponse adaptée à leurs projets.

Derrière la question « *qui ?* » se profile, de fait, plusieurs types d'acteurs, individuels et institutionnels, ayant des objectifs et des stratégies différents. Les besoins de formation sont induits par différents acteurs que l'on peut regrouper en trois pôles :

- > *environnement externe* : l'Etat et ses institutions, avec leurs orientations de politique agricole et rurale, environnementale, juridique et éducative ;
- > *environnement de proximité* : les ordonnateurs qui lanceront la demande de formation (projet ou agence de développement, agro-industrie, organisation professionnelle agricole, ONG et bailleur de fonds) ;
- > *les agriculteurs et agricultrices* : cette rubrique peut également être élargie à d'autres acteurs du milieu rural (prestataires de service, commerçants, artisans, transformateurs...).

Les attentes des acteurs de l'environnement de proximité sont généralement de trois ordres :

- > *améliorer à court terme la situation existante*. Leur demande est essentiellement orientée vers les organisations professionnelles agricoles : perfectionnement des individus (élus d'organisations professionnelles agricoles – OPA – exerçant une fonction précise) ou des groupes (initier les agriculteurs et agricultrices aux évolutions des marchés), formations initiales d'insertion (former de nouveaux élus d'OPA) ;
- > *préparer et faciliter les changements avec des demandes de différente nature* : former aux activités agricoles (préparer les nouvelles générations à leur insertion dans les circuits économiques), appuyer les projets individuels des jeunes qui s'installent, appuyer la mise en place d'organisations professionnelles agricoles ;
- > *préparer l'avenir*. La demande peut être en rapport avec les conséquences prévisibles des croissances démographique et urbaine (introduction de nouvelles technologies de communication de masse...). La formation aura alors pour objet de préparer aux changements de long terme soit au travers d'une évolution culturelle des agriculteurs et agricultrices, soit du développement de leurs capacités d'adaptation aux changements prévisibles, en prévenant les risques de blocage.

La notion d'agriculteurs et d'agricultrices, recouvre une extrême hétérogénéité d'acteurs en termes d'âge, de niveau de formation, de sexe, d'accès à la terre ou aux parcours, à la propriété animale, de responsabilité familiale, communautaire, professionnelle, de capacité financière...

Dans le cas où les personnes à former n'auraient pas été identifiées, le responsable de formation devra procéder à leur sélection. Ce travail mérite une attention particulière. Il conditionne, en effet, à la fois la relation entre les objectifs de formation, les besoins de formation et les attentes des stagiaires mais également la relation avec l'ordonnateur, qui devrait profiter de cette occasion pour juger de la cohérence de la démarche.

● Définir les résultats attendus

Pour définir les résultats attendus de la formation, il convient de faire l'analyse des activités agricoles, de leurs modalités d'évolution et de leurs conséquences. L'analyse consiste à :

- > recenser et décrire de façon précise toutes les activités que les agriculteurs et agricultrices accomplissent ;
- > répertorier les réseaux de relations sociales nouées avec les différents acteurs ;
- > inclure des éléments relatifs aux évolutions prévisibles des activités agricoles, en prenant en compte toutes les opportunités de développement.

Selon la nature des activités agricoles, les compétences à mettre en œuvre seront très différentes. Elles pourront être composées de savoir-faire simples pour l'exercice des tâches des ouvriers d'une plantation. Elles feront appel à des combinaisons complexes privilégiant des compétences transversales (analyse d'une situation, recherche de solutions adaptées, gestion de projet...) dans le cas des agriculteurs et agricultrices.

Nommer les différentes activités effectuées, répertorier la succession de chacune de ces activités, décrire les conditions de leur réalisation dans un référentiel de compétences permet ainsi d'éviter l'approximatif et le non-dit qui président encore trop souvent à l'élaboration des programmes de formation.

Plus on se projette dans le long terme, plus il est difficile de prévoir les compétences à maîtriser à l'avenir dans les activités agricoles et donc de définir les éléments d'une formation. *A contrario*, plus on se limite au court terme, et moins il sera tenu compte des compétences à développer dans les formations à l'avenir. Dans les pays en voie de développement, la vision à long terme se heurte souvent aux exigences, pas toujours cohérentes, des bailleurs de fonds ou des cadres dirigeants qui ont fréquemment tendance à faire table rase du passé. Or, dans de nombreux cas, il y a eu des opérations antérieures, notamment au travers des apprentissages familiaux, lesquelles doivent apparaître notamment dans le diagnostic préalable.

Pour faire l'étude des activités agricoles et des besoins de formation, il est indispensable d'utiliser des outils d'observation et d'analyse compréhensive centrés sur les acteurs, leurs pratiques individuelles et collectives et permettant d'identifier leurs représentations de la réalité et d'eux-mêmes.

C'est sur la base de ce que les formés doivent être capables de faire dans les activités agricoles que seront définis les référentiels de la formation. Toutefois, ces textes ne sauraient être figés. L'évolution des activités agricoles exige une adaptation continue des référentiels.

● Effectuer un diagnostic concerté

La première phase du diagnostic peut être réalisée par des experts extérieurs au projet (diagnostic externe). Mais elle doit être présentée, discutée, négociée, avec les différents acteurs de l'action de formation, notamment le public potentiel de la formation. Le diagnostic est alors approfondi par la réflexion et la participation collective des différents acteurs. Il devient alors mobilisateur. Chacun des partenaires aura pu replacer sa situation institutionnelle et personnelle dans l'ensemble des changements prospectifs choisis. Le diagnostic concerté engage également les différents partenaires dans des relations contractuelles qui précisent le rôle de chacun dans la préparation, la conduite et l'évaluation de l'action de formation.

Compte tenu de l'extrême variabilité des situations, les démarches de diagnostic doivent nécessairement être différentes pour chaque cas. Il faut prohiber toute méthode mécaniste, déroulant une même technique simple, allant linéairement de l'analyse des activités agricoles aux référentiels de formation. Au contraire, il convient, à chaque fois, de développer des analyses et actions particulières qui tiennent compte des évolutions du contexte, des acteurs et de leurs stratégies, des identités socioprofessionnelles et des cultures institutionnelles propres aux différents organismes concernés.

Le rôle du responsable de formation n'est pas de gommer les différences de point de vue mais de les mettre progressivement en cohérence dans la transparence. L'impact ultérieur de son travail en dépend étroitement.

● Élaborer le cahier des charges de la formation

La conduite du diagnostic concerté permet de définir, en collaboration entre les différents partenaires, les termes de référence de l'action de formation ou cahier des charges de la formation. Celui-ci constitue un engagement contractuel entre les différentes parties. Il fixe les orientations et détermine les moyens. Il comprend les éléments suivants :

- > *le contexte de l'action* : caractéristiques régionales, projets de développement, enjeux et objectifs de l'action, contraintes identifiées, actions de formation déjà réalisées et résultats...
- > *les résultats attendus* de la formation ;
- > *les caractéristiques du public à former* : activités actuelles, futures, compétences...
- > *les objectifs de formation* sur la base des compétences à mettre en œuvre dans l'exercice des activités d'agriculteurs et d'agricultrices ;
- > *les modalités d'organisation de la formation* : durée, lieux, différentes situations d'apprentissage...
- > *les moyens matériels à mettre en œuvre* : salles, matériel, véhicules, documents et outils d'apprentissage...
- > *l'encadrement* : effectif et qualification des formateurs, type de formateurs (permanents, intervenants extérieurs...) ;
- > *le budget* : source des financements, coûts de fonctionnement, modalités de financement et de paiement ;
- > *les modalités de suivi et d'évaluation.*

Toutefois, ce sont les formateurs qui devront apprécier les modalités de mise en œuvre pédagogique de la formation, en fonction des publics et des conditions concrètes de réalisation.

● Suivre l'exécution et évaluer les résultats

La création d'un dispositif de suivi-évaluation, associant les différents acteurs, est le garant du respect des objectifs. Il est également le lieu de concertation et de négociation pour adapter l'action de formation à ses conditions de réalisation.

En matière de suivi, il est généralement fait appel à une série d'indicateurs quantitatifs permettant de comparer prévisions et réalisations : nombre de stagiaires et de journées formation, nombre de journées d'hébergement et de restauration, nombre de *journées formateurs* (y inclure les temps de préparation et d'évaluation), nombre de *journées stagiaires* (nombre de stagiaires x nombre de journées de formation), *coût stagiaire* (hors coût de formation et avec), ...

Outre ces indicateurs classiques, il peut être fait appel à des indicateurs de résultats (taux de réussite au test *ex-post*), des variables de fonctionnement (taux d'abandon, pourcentage de participants effectifs par rapport au nombre d'inscriptions), de conformité au référentiel ou de pertinence de ce référentiel.

L'évaluation devrait permettre de mesurer les effets et impacts de la formation. Quelles que soient les nécessaires adaptations de la formation en cours de réalisation, l'évaluation de l'action doit pouvoir s'effectuer en référence aux objectifs généraux poursuivis.

Malheureusement, le plus souvent, il n'est pratiqué qu'une *évaluation de satisfaction*, basée sur un questionnaire distribué en fin de stage. Intéressante pour connaître l'opinion du formé, elle ne permet pas de préjuger des acquis et de leurs impacts dans les activités agricoles. Elle doit être complétée par d'autres types d'évaluations plus opérationnelles.

Dans le cas où il y aurait eu une évaluation préalable à la formation, il est aisé de soumettre à nouveau ce questionnaire aux stagiaires en fin de stage et de mesurer l'écart entre les deux. Peu pratiquée, cette méthode rapide est généralement très instructive pour le formateur et l'ordonnateur.

Quelques mois après le stage, une visite des anciens stagiaires peut permettre d'évaluer la mémorisation des acquis pour voir dans quelle mesure ils ont influencé le stagiaire dans ses pratiques. Enfin, il peut être envisagé, après une saison culturale, de mesurer l'impact des acquis (évaluation des effets). Toutefois, ce dernier type d'évaluation ne peut être effectué que dans le moyen terme.

● Construire des situations de formation

● Se baser sur les modes d'apprentissage familial

La formation des agriculteurs et agricultrices a longtemps reposé sur des schémas de diffusion des savoirs basés sur un modèle à *sens unique*, avec des lieux privilégiés de production du savoir, des fonctions relais de diffusion, puis l'exécution des tâches par la base.

C'est oublier qu'en pays en voie de développement, la formation agricole est assurée, dans la très grande majorité des cas, par le canal de l'apprentissage familial.

Dans ce contexte, la formation se fait principalement par l'observation : l'apprenti regarde ses parents travailler. Peu à peu, il essaie de reproduire ce qu'il a vu. Il se corrige et se fait corriger. Il s'informe, notamment sur le « comment » et le « pourquoi », auprès de ceux qui savent. Cette formation ne se limite pas à la transmission des pratiques manuelles et des savoirs technologiques. Elle prépare également la personne formée à toutes les fonctions de relations sociales des activités agricoles : avec la famille et la collectivité villageoise, les fournisseurs et les clients, l'Etat, les autres agriculteurs et agricultrices ainsi que les autres métiers ruraux, et les systèmes d'épargne et de crédit.

Tous ces aspects relationnels sont sous-estimés dans les enseignements initiaux qui sont censés former des « agents du secteur moderne », où le futur employeur assumera l'essentiel de ces relations avec l'extérieur, pour ne laisser aux employés que la production et la relation au savoir technique. L'apprentissage familial est donc beaucoup plus qu'une simple transmission de savoirs gestuels et techniques. Fondé sur la « pédagogie de l'activité » et « l'auto-formation », il permet à l'apprenant de se forger, par l'expérience, des attitudes nécessaires à l'exercice des fonctions sociales.

Si l'apprentissage permet la transmission d'une génération à une autre des acquis, il représente, en règle générale, un capital unique, remarquablement adapté aux milieux où il a été construit.

Pour les paysans, le point de départ de leur formation, ce sont leurs préoccupations, leurs pratiques et leurs savoirs spécifiques. Beaucoup de jeunes ruraux partent ainsi temporairement à la ville, à la recherche de situations d'apprentissage. C'est de fait l'itinéraire de formation professionnelle le plus courant pour beaucoup d'entre eux avant leur retour au village.

● Voir, observer, écouter

C'est se mettre en situation pour aborder les réalités d'un environnement donné : observer, écouter et accéder à la diversité des sources d'information.

Observer, par itération entre le général et le particulier, des paysages, des sociétés, des parcelles ou des troupeaux avec une description minutieuse des itinéraires techniques et des pratiques, sans *a priori* sur les performances techniques : « *il faut prendre les choses comme elles sont* ».

Écouter la pluralité des discours, la pluralité des interprétations et transcrire fidèlement les points de vue. Cela pose la nécessité d'investir dans la compréhension des langues locales, pour pratiquer des entretiens compréhensifs. Cela suppose également la prise en compte des savoirs des anciens.

Accéder à la diversité des sources d'information, en partant des réalités économiques, techniques, sociales et culturelles et du vécu des agriculteurs et agricultrices et de leur histoire.

Les médias locaux

Les radios rurales et la presse professionnelle sont des outils puissants pour accompagner des formations de masse. Leur mise en œuvre ne doit pas être négligée dans les programmes de formation, de même que les centres de ressources utilisant les nouvelles technologies de communication.

Le système pédagogique ne doit donc pas créer de réticences pour aller sur le terrain, il doit permettre la construction de situations pédagogiques favorables. En d'autres termes, il faut que les agriculteurs et agricultrices en formation aient accès au «privilège de l'expert», c'est-à-dire puissent accéder à la totalité de l'information et avoir la possibilité de réaliser des voyages d'étude et des échanges d'expériences. C'est un préalable indispensable pour favoriser l'élargissement des références et pour mettre les agriculteurs et agricultrices en situation de recherche. Cela constitue une démarche de formation professionnelle plus efficace que les cours généralement dispensés en salle.

● Juger ou réaliser un diagnostic

C'est la capacité d'analyser des changements, de cerner des contraintes, de percevoir de nouvelles opportunités et de construire un projet de réponse adapté à des références historiques et à ses propres références.

C'est aussi la capacité d'analyser les stratégies observées et les choix effectués en fonction de cohérences techniques, économiques, sociales et culturelles, et de dégager des priorités en fonction du contexte.

C'est l'occasion de renforcer une formation générale, en restituant les connaissances dans un contexte plus large à mesure que les agriculteurs et agricultrices en ressentent le besoin. Il est de la responsabilité du technicien ou du formateur d'aider les paysans à produire collectivement ces diagnostics concertés.

● Agir ou mettre en œuvre une formation-action

«Les agriculteurs et agricultrices demandent une formation de proximité, inscrite dans l'action et l'accompagnant, assurant le suivi des groupes locaux et les rendant autonome¹». Agir, c'est renforcer la démarche expérimentale, en confrontant sans cesse les bases techniques enseignées et les pratiques imposées par les contextes socio-économiques. C'est aussi développer l'identité professionnelle des groupes, en leur permettant de situer leurs actions et de les défendre dans le contexte de la dynamique économique de leur région.

Les efforts doivent essentiellement porter sur des formations :

- > permettant d'élargir les champs de références grâce à l'accès à l'ensemble de l'information, de fréquents voyages d'études et d'échanges entre agriculteurs et agricultrices ;
- > permettant d'expérimenter et d'innover en se mettant collectivement en situation de recherche avec l'appui des formateurs ;
- > privilégiant les groupes dans toute leur diversité plutôt que les individus.

Toute mise en situation analysée permet à chacun de progresser non seulement dans ses connaissances mais aussi dans sa capacité à s'orienter dans sa vie professionnelle, de construire une dynamique et un projet. Autant de facteurs d'engagement et d'orientation dans la formation et dans les actions futures.

¹ Atelier national de Yamoussoukro, PVRHSA, Côte d'Ivoire, octobre 1999.

L'INFORMATION ET LA VULGARISATION

● *Les concepts*

Vulgarisation : la vulgarisation a pour objet de rendre accessible à un large public des notions, des expériences et des recherches effectuées par des spécialistes.

Vulgarisation agricole : outil d'accompagnement qui vise à renforcer les connaissances et les savoir-faire des producteurs en leur diffusant des informations appropriées et en leur donnant des conseils pour leur mise en pratique.

Différence entre la vulgarisation et la formation : à la différence de la formation qui est ciblée sur un public spécifique pour lui permettre d'acquérir des compétences nouvelles dans un domaine choisi sur des critères préétablis ensemble, la vulgarisation agricole se situe au niveau de l'appui, de l'information et du conseil.

Utilité : pour utiliser efficacement ses facteurs de production (terre, capital, travail), un agriculteur doit pouvoir combiner, de façon active et positive, ses propres connaissances et son savoir-faire avec des informations nouvelles afin de renforcer ses compétences décisionnelles.

Dispositif : la vulgarisation agricole est l'affaire de nombreux acteurs car les sources de production d'informations et de connaissances sont multiples ainsi que les modes de diffusion. Les utilisateurs principaux des savoirs agricoles, les paysans, sont aussi les premiers producteurs de savoirs. Ils jouent ou devraient jouer un rôle majeur dans la diffusion et le partage de l'information. Ce principe est un des acquis de l'évolution des approches de la vulgarisation par la recherche-développement. Une des difficultés consiste à mettre en synergie la diversité des sources de savoirs, par exemple la recherche agronomique et les organisations paysannes, afin que les travaux des uns correspondent bien aux préoccupations des autres. Une autre difficulté est de mettre en place des dispositifs suffisamment ouverts et souples pour que les différents acteurs puissent débattre de leurs priorités, de leurs problèmes, de leurs hypothèses de solutions. Ces dispositifs doivent aussi pouvoir s'adapter aux évolutions économiques, sociales et politiques des contextes dans lesquels les paysans évoluent.

Système de vulgarisation agricole : il doit permettre au producteur d'accéder aux informations qu'il jugera utiles à l'amélioration de sa situation économique et sociale.

Familles de savoirs utiles au paysan : il est nécessaire de distinguer celle qui concerne la production agricole et ses savoir-faire techniques et celle relative à l'environnement de la production qui couvre un ensemble d'outils de gestion, d'organisation et de communication. Ces deux familles conduisent à examiner des dispositifs différents de vulgarisation. Les uns ont davantage une vocation de formation et de conseil technique à la production, au sens restrictif du terme. Les autres sont davantage orientés vers le conseil de gestion, prenant en compte le paysan dans la diversité de ses activités et attentes.

● L'histoire des dispositifs

● Les schémas classiques de vulgarisation

Ce sont les dispositifs mis en place et gérés par l'Etat ou délégués à des sociétés de gestion de filière, dispositifs dits d'«approche intégrée autour d'une culture de rente».

Pendant très longtemps les dispositifs de vulgarisation agricole ont été conçus, gérés et mis en œuvre directement par les services des Etats, dans le cadre de structures administratives lourdes. Composés de fonctionnaires, ces dispositifs de vulgarisation de masse avec encadrement multifonctionnel rapproché ont axé leurs interventions sur la vulgarisation de messages éprouvés. À partir des années 80, ils ont cherché à élargir leurs actions à la prise en compte d'autres spéculations de l'exploitation agricole ainsi qu'à un appui à l'organisation du milieu.

Sans véritable participation paysanne à la définition des objectifs, méthodes et résultats attendus, ces dispositifs ont montré leur incapacité à générer des dynamiques de développement agricole portées par les paysans. Par ailleurs, le coût important de ce type de montage a rendu impossible sa prise en charge par l'Etat dans la durée.

Training and Visit

Le système de vulgarisation appelé «T and V» (*Training and Visit*, ou encore Formation et visite), promu par la Banque mondiale à partir des années 70, appartient à ce schéma. Fondé sur un réseau très dense de conseillers sur le terrain, il a permis d'obtenir d'importants résultats dans l'adoption par les paysans de techniques de production spécialisées (intensification rizicole en contre-saison par exemple), en valorisant les acquis de la recherche agronomique. Cependant, ce système s'avère coûteux et mal adapté à la diversité des activités des producteurs. Par son organisation hiérarchisée et en cascade, il est mal adapté à la vulgarisation de thèmes complexes, comme la gestion des ressources naturelles, et favorise difficilement l'implication des producteurs.

Ces dispositifs verticaux de vulgarisation ont montré leur efficacité au sein des filières encadrées, en particulier dans la production cotonnière. Ils ont permis un accroissement des revenus des producteurs et ils ont fait prendre conscience aux producteurs de la nécessité de s'organiser. Mais ils focalisent exagérément les appuis sur une seule culture et contribuent à une centralisation des pouvoirs de décision et de gestion entre les mains des sociétés d'exploitation. En outre, ce type de vulgarisation avait tendance à faire penser qu'aucune autre formation, au sens décrit plus haut, n'était nécessaire. Les privatisations des sociétés d'exploitation en cours dans de nombreux pays permettent des ouvertures et des alternatives à ce schéma vertical.

● Les dispositifs plus récents

Il s'agit de dispositifs gérés par les organisations agricoles ou par des prestataires de services privés. L'expérience a montré, il fallait donner plus d'importance que par le passé à la connaissance, la reconnaissance et la valorisation des savoirs paysans et mieux prendre en compte un ensemble de besoins en appui et en accompagnement. Les paysans sont alors mieux armés pour exprimer leurs attentes et suivre les pistes et les conseils qui leurs sont proposés et qu'ils contribuent à définir.

Au-delà des conseils sur les techniques culturales, les besoins d'appui se manifestent dans de nombreux domaines, à la fois pour les organisations de producteurs et pour les individus : outils de comptabilité-gestion, aide à la commercialisation, systèmes d'information sur les prix et marchés, connaissance des règlements fonciers, appui juridique pour la gestion de contentieux commerciaux ou bancaires, etc. Ces domaines spécialisés révèlent des besoins d'accompagnement, de formation continue et de conseil, très importants, qui constituent autant de pistes de travail de vulgarisation. Il s'agit, en effet, toujours sur la base des réalités paysannes, de permettre la valorisation des compétences par la diffusion d'informations utiles à une meilleure prise de décision.

À titre d'exemple, nous pouvons évoquer quelques dispositifs allant dans ce sens :

- > des services d'appui aux producteurs issus des fédérations d'organisations paysannes : la FONGS au Sénégal, la Fédération des caisses locales de crédit mutuel du Bénin ;
- > des dispositifs d'appui spécialisés gérés par des organisations paysannes et contractant des appuis avec des prestataires de services : *Exchange crossroads Ltd* au Sénégal pour la commercialisation, centres de gestion rurale au Mali Sud, centres de services en zone Office du Niger au Mali, centre de gestion rattaché à l'Institut de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire, etc ;
- > des ONG contractualisant des actions de vulgarisation auprès d'organisations de producteurs : SAILD au Cameroun, IREDEC à Madagascar.

L'élargissement de la notion de vulgarisation à une meilleure prise en compte de l'environnement de la production est fréquent. Ces nouvelles approches de la vulgarisation et du conseil apparaissent comme des évolutions des dispositifs classiques verticaux, auxquelles les sociétés d'exploitation cherchent à s'adapter. Elles reposent en grande partie sur la capacité des organisations professionnelles agricoles (OPA) à remplir leurs fonctions, en représentant de manière efficace et indépendante les intérêts de leurs adhérents, grâce à des leaders bien formés.

● **Les leçons des expériences**

● **Concevoir, gérer et réaliser avec les paysans**

De trop nombreux programmes de vulgarisation ont fonctionné sans implication réelle des paysans. De ce fait, on a pu observer des décalages importants entre les problèmes vécus au quotidien par les producteurs et les messages techniques et les formations qui leur ont été proposés.

Des résultats satisfaisants sont obtenus lorsque plusieurs facteurs sont combinés : une connaissance de base des agricultures pratiquées, une analyse des contraintes techniques rencontrées par les producteurs, le tout resitué dans le contexte socio-économique dans lequel évoluent les producteurs.

Ces analyses doivent être conduites avec les producteurs (hommes et femmes) concernés. Sur ces bases, les producteurs sont les mieux placés pour indiquer à la recherche agronomique et aux services techniques d'appui les priorités sur lesquelles il faut travailler. Il est important de partir des pratiques paysannes et de chercher à les

adapter aux évolutions du contexte plutôt que de proposer des paquets techniques clés en main qui ne s'appuient pas sur l'existant.

Les paysans doivent être impliqués dans le suivi et l'évaluation des activités de vulgarisation. Ils pourront ainsi, avec les autres acteurs concernés, corriger les erreurs et proposer des pistes de travail plus adaptées à leurs besoins. De nombreux programmes de recherche développement ont montré la pertinence de cette approche, dont les principes sont aujourd'hui repris par les dispositifs de conseil de gestion.

● **Prendre en compte l'environnement socio-économique et politique**

Un système de vulgarisation doit être en mesure de conjuguer des objectifs de valorisation des savoirs et de réponse aux attentes exprimées par les paysans. Trop souvent seul le premier objectif est pris en compte. Les dispositifs de vulgarisation se contentent de délivrer des conseils techniques, sans avoir cherché au préalable à vérifier si les paysans ont réellement intérêt à sa mise en œuvre.

Les recommandations ou «paquets techniques» peuvent alors conduire les paysans à de véritables impasses économiques. Ils peuvent, par exemple, encourager une production alors que les conditions du marché ne sont pas favorables. De manière générale, diffuser des savoirs et encourager les producteurs à les mettre en œuvre, alors que les conditions d'environnement ne sont pas favorables, conduit à un gaspillage important de ressources. La vulgarisation n'est qu'une des composantes d'une politique agricole. Pour produire des effets positifs, elle doit s'inscrire dans un cadre clair définissant des conditions d'environnement économique et social favorables au développement agricole.

● **Mettre en place une recherche appliquée adaptée**

Investir dans un dispositif de vulgarisation sans investir également dans la mise en place d'une recherche appliquée performante limite les chances de succès. Il est important que des synergies fortes existent entre ces deux composantes. Les chercheurs concernés doivent être formés à leurs tâches et bénéficier, dans la mesure du possible, des recyclages nécessaires liés à l'évolution de l'environnement de la production.

● **Ne pas réserver la vulgarisation aux chefs de famille**

Très souvent les agents de vulgarisation s'adressent aux chefs de famille, hommes dans la plupart des pays, et considèrent que c'est à lui qu'il faut transmettre les messages techniques et la formation. Or, dans la plupart des sociétés, les travaux agricoles sont en grande partie réalisés par les femmes, notamment dans les petites exploitations agricoles. Des programmes spécifiques de vulgarisation, orientés vers les femmes et appuyés par des femmes, doivent donc être encouragés afin de mieux prendre en compte leurs besoins spécifiques.

● **Former les agents de vulgarisation à la complexité du métier**

Très souvent les agents de vulgarisation relèvent encore de services administratifs ou de sociétés chargées de la conduite d'une filière d'exportation. De formation agricole, en général de niveau technicien, ils sont compétents sur les sujets techniques pour lesquels les paysans les sollicitent.

Les dispositifs de vulgarisation évoluent ou tentent d'évoluer actuellement, vers des systèmes plus ouverts, prenant mieux en compte les attentes des producteurs. Mais les profils des agents de vulgarisation restent souvent les mêmes. Mettre en place des profils polyvalents constitue une réponse intéressante mais crée d'autres problèmes : les agents sont alors débordés et ne sont plus en mesure d'accompagner correctement les producteurs. Un important travail de formation reste souvent à faire pour que les agents de vulgarisation soient mieux préparés à l'évolution de leur métier : actualisations régulières de leurs compétences techniques, de leurs compétences méthodologiques (notamment les capacités à écouter, à diagnostiquer), formations à l'accompagnement de projets paysans.

● **Centrer les dispositifs de vulgarisation sur leurs fonctions**

Valoriser les savoir-faire des paysans, identifier et tester avec eux des améliorations techniques et diffuser des informations utiles aux producteurs : telles sont les missions majeures d'un dispositif de vulgarisation agricole. Souvent on a voulu y ajouter d'autres fonctions : par exemple organiser la distribution des intrants ou gérer les demandes en crédit de campagne des paysans. Il existe pour cela des opérateurs privés spécialisés, avec lesquels il est possible de passer contrat. Certaines organisations professionnelles agricoles assurent également ces fonctions.

● **Laisser place à la diversité des dispositifs**

La tendance est à la centralisation des fonctions. La plupart des pays font le choix de systèmes de vulgarisation nationaux. Or, il paraît important de laisser s'exprimer différentes formes de services de vulgarisation et conseil aux producteurs, promus par des acteurs divers, publics ou privés. Les paysans peuvent alors mieux préciser leurs attentes et s'adresser à l'offre de service qui leur paraît la plus pertinente dans un domaine particulier. Cette diversité de services n'exclut pas la nécessité de mettre en relation les différents acteurs, fonction qui pourra progressivement être assurée par les organisations paysannes.

● **Coordonner l'action des agences de coopération**

Il existe, dans de nombreux pays, des difficultés à organiser la coordination des différentes coopérations dans le domaine de la vulgarisation agricole. En effet, il manque souvent un cadre suffisamment solide de politique agricole nationale dans lequel chaque agence pourrait apporter sa contribution. La volonté de chaque coopération d'affirmer la lisibilité et la spécificité de son action freine la mise en place de ce cadre. Il est de première importance que les bailleurs de fonds aident les États et les organisations paysannes à préciser leurs attentes et à définir le cadre de politique agricole dans lequel les appuis pourront ensuite être coordonnés.

● **Savoir qui doit payer quoi**

Un dispositif de vulgarisation coûte cher. Il se justifie si les progrès qu'il permet créent une valeur ajoutée suffisamment importante. De nombreuses formules ont été expérimentées pour réduire les coûts : formation et conseil par des agents de vulgarisation à de grands groupes ou mise en place de relais villageois chargés de répercuter les formations et messages techniques appris ; utilisation d'outils de communication à grande échelle telle les radios rurales ou les journaux techniques en langues nationales.

Les résultats obtenus sont très variables, mais, quelle que soit la formule choisie, la question de la prise en charge des coûts de la vulgarisation se pose toujours. Les difficultés économiques rencontrées par de nombreux pays et les plans d'ajustement structurels ont conduit les Etats à réduire leurs engagements financiers dans les dispositifs de vulgarisation, et même à déléguer à des structures d'économie mixte ou privées la conduite des programmes. Les organisations paysannes sont de plus en plus sollicitées pour prendre en charge une partie des coûts de la vulgarisation.

Les paysans ne refusent pas de contribuer aux coûts du dispositif s'ils sont en situation de mesurer les bénéfices qu'ils obtiennent collectivement et individuellement et qu'ils sont convaincus de la qualité des services fournis. Pour cela, il est indispensable qu'ils soient associés aux décisions et au suivi-évaluation des activités. Mais sont-ils les seuls bénéficiaires du dispositif de vulgarisation ? Au cas par cas, il est utile d'examiner les intérêts des acteurs en présence pour négocier la prise en charge des charges financières correspondantes.

● **Adapter les dispositifs à la demande et au contexte**

Il n'y a pas «une» méthode de vulgarisation agricole. Les outils et démarches doivent pouvoir être adaptés aux situations particulières. Les stratégies doivent être différenciées car les contextes sont très divers. Lorsqu'il n'y a pas d'organisations rurales structurées et vivantes, les appuis porteront essentiellement sur des actions de type animation-formation, en vue d'une meilleure structuration autour de projets fédérateurs. Lorsque les organisations rurales sont organisées et actives, les attentes sont en général plus spécialisées car il s'agit alors d'accompagner des actions en cours ou de résoudre des problèmes spécifiques. Il est alors nécessaire d'identifier et de faire appel à des prestataires spécialisés. Bien que récentes, plusieurs actions vont dans ce sens, notamment par le biais des centres de services.

LES CENTRES DE SERVICES

● **Des principes de base**

L'idée même de la mise en place d'un centre de services doit être portée par une ou plusieurs personnes ressources locales qui s'investissent dans sa concrétisation. Cette démarche demande du temps, et doit se faire par étapes :

- > l'adhésion au centre de services se fait sur une base d'adhésion volontaire et s'accompagne de droits et de devoirs ;
- > il ne faut pas raisonner le lancement de centres de services selon des indicateurs quantitatifs : deux ans ou trois peuvent être nécessaires à la consolidation d'un premier centre, qui, lorsqu'il aura fait ses preuves, servira de tremplin à une éventuelle extension ;
- > implanté à proximité des utilisateurs de services, le centre doit être un lieu ouvert, accessible à tous ;
- > il faut s'assurer que les services proposés n'existent pas ailleurs. Il est souvent plus efficace, dans ce cas, de dynamiser l'existant ;
- > il est important de ne pas proposer au départ une gamme de services trop large mais de se concentrer sur le ou les quelques thèmes qui préoccupent la majorité des clients potentiels. Puis de diversifier selon la demande ;
- > le centre de services, dès le démarrage, doit se financer, au moins en partie, par la vente de services (soit par paiement direct du service à l'acte, soit par souscription d'une adhésion au centre donnant droit au service) ;
- > le centre de services ne peut pas rassembler toutes les compétences ni résoudre tous les problèmes : il doit jouer un rôle de mise en relation des producteurs avec des personnes ressources compétentes.

Peuvent être regroupés sous le terme *centres de services* les dispositifs qui présentent les caractéristiques suivantes ou s'en approchent : adhésion volontaire ; prise en charge par les adhérents du coût du service, partiellement ou en totalité ; service de proximité ; et, ce qui est fortement recommandé si l'on souhaite renforcer la pérennité du dispositif, implication des adhérents dans la gestion.

● **La gestion d'un centre**

Pour l'instant, les centres de services sont essentiellement créés à partir d'impulsions extérieures aux organisations paysannes, en particulier par des projets soucieux de favoriser des formes durables de services impliquant les paysans. Les centres de service existants ne peuvent donc pas encore être qualifiés de *centres professionnels* car ils ne sont pas encore complètement gérés par la profession agricole. En terme de montage, il n'y a pas de formules toutes faites.

Plusieurs cas de figures peuvent être envisagés. Le centre de services est géré :

- > *par une organisation professionnelle agricole (OPA)* : une fédération, une union, un groupement de coopératives. Dans ce cas, des représentants des structures adhérentes peuvent constituer le conseil d'administration du centre, avec le mandat de définir les orientations, la nature des services, le coût des services ou des adhésions à payer par les membres, le type de conseillers qui travaillera au centre, les modalités de rémunération des conseillers, etc. ;
- > *par une structure professionnelle distincte de l'OPA* : par exemple par une chambre d'agriculture ou une chambre des métiers. Dans ce cas, les adhérents au centre pourraient être associés à la gestion ;
- > *par une entreprise privée* : on peut imaginer, par exemple, qu'un cabinet d'experts comptables ait intérêt à ouvrir en milieu rural un centre de services payants en comptabilité/gestion. Il serait prestataire de services et déciderait des règles de fonctionnement du centre.

D'autres formules peuvent encore être imaginées. Il est important que les OPA s'interrogent sur ce qu'elles veulent réellement faire et prendre en charge. *A priori*, l'objectif essentiel est que des services de qualité soient accessibles (physiquement, en qualité et en coût), dans la durée, aux membres du centre. Il n'est pas évident que la meilleure formule passe toujours par une gestion en direct du dispositif. L'OPA peut trouver avantage à contractualiser ce type de dispositif avec des prestataires et valider par son adhésion les services proposés.

● **La validation de la qualité du service**

La prise en charge du coût des prestations des conseillers apparaît comme une clé importante du processus de validation.

Les centres de gestion rurale au Mali Sud

Chaque conseiller en gestion a un contrat d'honoraires avec un ou deux centres de gestion. Un centre de gestion représente environ 15 à 30 associations villageoises adhérentes.

Compte tenu de la nature du travail du conseiller et des distances, un conseiller ne peut pas suivre plus de 40 associations villageoises sans risquer une baisse de qualité de ses prestations. Ce sont donc les 25, 30 voire 40 associations adhérentes qui doivent assurer les coûts liés au travail du conseiller : ses honoraires mensuels, négociés entre le conseil d'administration du centre de gestion et le conseiller, le fonctionnement et les réparations de sa moto, la dotation aux amortissements pour le remplacement de la moto, les documents de gestion utilisés par les associations et par le conseiller.

Plus le nombre d'adhérents suivis est grand et plus le coût par adhérent est faible. Dans les centres de gestion du Mali Sud, les cotisations au centre de gestion sont calculées selon le volume de coton commercialisé. Dans ceux de la zone Office du Niger, le calcul se fait en fonction du battage du riz.

Mais comment les adhérents sont-ils en mesure d'apprécier la qualité du service rendu par le conseiller ? Afin de le savoir, les centres de gestion ont bénéficié d'une étude d'impact. Elle a révélé que les adhérents, les producteurs, ne mettent pas en avant des critères techniques d'appréciation, mais des critères sociaux. Pour la majorité d'entre eux, le service est validé car les centres de gestion ont permis de rétablir, dans les associations villageoises, une transparence dans les comptes. Ils ont donc contribué à soulever les problèmes de suspicion et de méfiance entre ceux qui tiennent les comptes (les instruits) et les autres. Les services rendus ont également permis de renforcer les cadets sociaux, notamment les jeunes, mieux informés du fonctionnement de l'association villageoise et pouvant émettre des idées.

Il ne faut pas attendre des adhérents qu'ils se donnent les moyens de contrôler la rigueur et la pertinence technique des conseils fournis, lorsque ces services n'ont pas un impact direct et individuellement mesurable. Dans le cas des centres de gestion, le contrôle technique du travail des conseillers s'effectue à un autre niveau : des inspecteurs sont mandatés dans chaque région pour contrôler le travail. Le coût du travail des inspecteurs est pris en charge par des financements extérieurs aux OPA (bailleurs de fonds et filière coton).

● ***Le financement du centre***

Un des enjeux actuels des centres de services est de mieux mettre en évidence les bénéficiaires des services rendus. Il y a les adhérents directs et aussi les bénéficiaires indirects des services, qui ont avantage à ce que le service continue à être assuré. Dans le cas d'un centre de gestion, ce sont les banques qui diminuent leurs risques en attribuant des crédits à une association qui peut présenter des comptes validés par le centre de gestion, ou encore une société para-étatique de commercialisation qui trouve profit à ce que son partenaire OPA ait une gestion saine et une organisation plus rigoureuse.

Sur la base d'une mesure adaptée des impacts des services fournis, et des manques à gagner que pourraient subir les bénéficiaires indirects si le service n'était pas rendu correctement, des négociations sur les contributions financières au coût du service par les différents acteurs peuvent être engagées. Cette contribution n'est pas automatiquement une participation financière directe. Ainsi une banque qui souhaite encourager un service auprès de ses clients actuels ou potentiels mettra en place des taux préférentiels, des moratoires particuliers ou encore des produits de financement spécifiques pour les adhérents à tel centre de services.

Enfin, si l'idée peut paraître séduisante sur le papier, elle n'est pas évidente à mettre en place sur le terrain. Les outils de mesure des impacts font défaut et le coût d'un dispositif de suivi-évaluation est souvent tel qu'il grèverait les objectifs de couverture financière. Une évaluation des impacts économiques du centre de services de Niono (Office du Niger au Mali) a montré les impacts très positifs du centre : les effets indirects des services rendus justifient pleinement la part de subvention accordée au dispositif.

● ***Un outil de promotion des initiatives privées ?***

Ouvert aux groupes comme aux individus, le centre de services apparaît comme un vecteur possible de promotion des initiatives privées. Le profil des conseillers est alors déterminant. La difficulté est de recruter les conseillers en cherchant à résoudre la quadrature du cercle : trouver des personnes compétentes, motivées, ouvertes au dialogue, capables de mobiliser des compétences qu'ils n'ont pas, de provoquer des échanges, de faire circuler l'information et d'un coût accessible au monde rural.

Deux exemples de politiques de recrutement

Les centres de gestion de Mali Sud ont recruté des conseillers d'un niveau d'étude et d'expérience professionnelle relativement faible, afin d'atteindre rapidement l'objectif d'équilibre financier et d'autonomie des centres de gestion. Mais la limite de ce raisonnement se fait aujourd'hui bien sentir : les conseillers sont de bons praticiens comptables mais ont des difficultés à assurer leur fonction de conseil de gestion.

Le centre de prestations de services de Niono a recruté des conseillers d'un niveau d'étude plus élevé (jeunes diplômés de l'enseignement supérieur), plus motivés et aussi plus inventifs. Là, la prise en charge des coûts par les adhérents est montée en puissance plus lentement, mais peut-être plus sûrement.

● Des centres pour tous

Les principes exposés plus hauts insistent sur la participation des adhérents au coût du service. Les centres de services sont mis en place dans des régions où une culture commerciale domine, coton, riz, arachide, etc. Dans ces régions économiquement privilégiées, les producteurs sont loin d'être riches. Ils sont cependant en meilleure posture que les producteurs *hors filière*, dont les revenus sont plus aléatoires et les disponibilités financières souvent inexistantes.

On peut, sans grand risque de se tromper, affirmer que toutes les régions de production agricole, même celles à faible potentiel de développement, quelles soient ou non dominées par une culture de rente, devraient être en mesure de proposer des services de base aux producteurs et à leurs organisations.

Il appartient à l'État de répartir les efforts et de compenser par des richesses obtenues ici des besoins non couverts qui se manifestent là-bas. Mais cela reste théorique dans un pays qui ne parvient que difficilement à assurer les services de base tels que la santé et l'éducation, les voies de communication ou encore la sécurité des biens et des personnes.

Alors que faire ? Subventionner de l'extérieur des centres de services, en demandant aux adhérents des participations financières symboliques ? Il appartient à chacun d'y réfléchir et de mesurer au cas par cas. Cela ne doit pas empêcher les OPA, et notamment les structures fédératrices, de chercher à mettre en place par elles-mêmes, dans les régions les moins favorisées, des lieux dans lesquels les producteurs peuvent se retrouver pour débattre de leurs problèmes, échanger leurs savoir-faire, et construire leur identité.

Bibliographie

BEAUDOUX (E). *Accompagner les ruraux dans leurs projets*, Editions l'Harmattan, 2000.

CHAIX (M.L), ENESAD, avril 2000.

DARRE (J.P) : *La production de connaissances pour l'action : arguments contre le racisme de l'intelligence*, édition de la Maison des sciences de l'Homme, Paris, Institut national de recherche agronomique (INRA), 1999.

DEBOUVRY (P), GRANIE (A.M), MARAGNANI (A), METGE (J). *Initiation à l'ingénierie de formation pour le développement*, ENGREF-ENFA-CINAM, 1996.

MAZOYER (M) : *Histoire des agriculteurs et agricultrices du monde*, éditions du Seuil, Paris, 1998.

MERCOIRET (M.R). *L'appui aux producteurs ruraux*, Editions Karthala, 1994.

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES. DIRECTION DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE ET DU DÉVELOPPEMENT : *Pour une nouvelle approche de la formation professionnelle et technologique*, octobre 1999.

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE, Agropolis : *Ingénierie des dispositifs de formation à l'international : quelle démarche ? quelle organisation ? quelle offre ?*, EDUCAGRI éditions, 2000.

2 **3**

La gestion des ressources naturelles

- 2.3.1** **Le foncier et la gestion
des ressources naturelles**
- 2.3.2** **La gestion des terroirs**
- 2.3.3** **L'aménagement des zones cultivées
et la lutte contre l'érosion**
- 2.3.4** **La gestion des forêts
et des pâturages**
- 2.3.5** **Les aménagements hydrauliques
et les périmètres irrigués**
- 2.3.6** **Aménager les bas-fonds :
l'exemple de Afrique de l'Ouest**

Le foncier et la gestion des ressources naturelles

À partir d'une contribution de P. Lavigne-Delville (GRET)

Ce chapitre s'appuie essentiellement sur des références d'Afrique francophone. Il met l'accent sur les situations où les règles et pratiques foncières d'origine coutumière prédominent largement en milieu rural. C'est le cas de l'essentiel de l'Afrique subsaharienne mais aussi des régions à population *indigène* d'Amérique latine, d'Océanie, ainsi que d'une partie de l'Asie. Mais tous les éléments ci-dessous ne sont pas nécessairement pertinents dans ces autres contextes.

Toute activité productive s'exerce dans le cadre de droits d'accès et d'exploitation des ressources mobilisées : une parcelle ne peut être exploitée que par celui ou ceux qui détiennent des droits dessus. Amener son troupeau sur un pâturage, s'abreuver à un point d'eau ou cueillir les fruits d'un arbre est souvent réservé à certains acteurs.

Le *foncier* est l'ensemble des règles d'accès, d'exploitation et de contrôle s'exerçant sur les terres et les ressources renouvelables. Il met en jeu :

- > *des règles ou normes* sur l'héritage, les formes d'appropriation, les modes d'exploitation, etc.
- > *des droits* détenus et transmis par les acteurs. Ces droits sont la traduction concrète des règles, appliquées à cet individu ;
- > *des autorités* qui ont le pouvoir d'affecter des droits, la responsabilité de faire appliquer les règles et le pouvoir de les modifier, le pouvoir d'arbitrer et de trancher les conflits.

Analyser les systèmes fonciers constitue une étape nécessaire dans la compréhension d'une agriculture locale. En effet :

- > la répartition des droits entre les acteurs explique une partie importante des différences économiques entre familles, et donc de la diversité des stratégies de production : des inégalités foncières ou le contrôle d'un type de terre particulièrement productive peuvent être déterminants dans les différenciations économiques (cf. le chapitre 31) ;
- > le statut foncier des exploitants peut conditionner leur possibilité d'innover : certaines innovations techniques sont possibles sur des parcelles familiales mais non sur des parcelles louées ; l'insécurité foncière dissuade l'investissement et l'intensification ;
- > l'inexistence ou les défaillances d'un système de règles sont souvent à l'origine de phénomènes de surexploitation des ressources naturelles : dégradation de pâturages, érosion des sols, etc.

Prendre en compte les enjeux fonciers est également indispensable dans une perspective d'aménagement, où l'investissement transforme la valeur d'une portion de

l'espace et modifie le plus souvent ses règles d'accès. Tout aménagement augmente la compétition pour l'accès aux ressources. Il est essentiel d'anticiper les tensions susceptibles d'apparaître, en favorisant la négociation des règles qui vont s'appliquer, et en précisant à l'avance les droits futurs, et donc la répartition des bénéfices tirés de l'aménagement.

L'ACCÈS À LA TERRE ET AUX RESSOURCES RENOUVELABLES

Le *foncier* n'est pas basé sur une relation entre l'homme et la terre, mais sur une relation entre les hommes, à propos de la terre et des ressources qu'elle porte. Le foncier est fondamentalement un rapport social, qui a des dimensions économiques, politiques, juridiques, techniques, institutionnelles. Il met en jeu les rapports sociaux internes à la société rurale locale, mais aussi les rapports entre l'Etat et les citoyens et, de plus en plus, entre ruraux et acteurs urbains ayant des intérêts fonciers en milieu rural.

La terre n'est jamais un simple facteur de production, et le foncier mêle indissociablement des enjeux de richesse, de pouvoir et de sens. D'un point de vue de développement agricole, c'est l'aspect productif qui importe, mais on ne peut négliger pour autant les autres dimensions, qui sont fondamentales dans la façon dont les ruraux et l'Etat appréhendent cette question.

● **Des systèmes fonciers « coutumiers » dynamiques**

Dans la plupart des sociétés rurales, les règles foncières relèvent des règles locales, fondées sur les valeurs et normes sociales, et non sur la loi. Les systèmes fonciers « coutumiers » ont longtemps été considérés comme archaïques, figés, sources d'insécurité, empêchant l'intensification. Dès lors, l'optique était de remplacer ces règles par un système « moderne », fondé sur des titres de propriété délivrés par l'Etat. Ces préjugés sont aujourd'hui largement remis en cause.

La référence à la « coutume » renvoie à des principes de légitimité, à des valeurs, et non à des règles figées. Les règles foncières sont d'abord des règles sociales. Il n'existe pas en général un « droit foncier » isolé de l'ensemble des relations sociales. La logique des systèmes coutumiers est de type « procédurale » : les droits détenus par les individus ont été négociés, en fonction de leur position sociale, des principes locaux, et du contexte, auprès d'acteurs ayant le pouvoir de les accorder. Il n'y a pas « un droit foncier coutumier », ni même un « système » au sens fermé du terme, mais des mécanismes de régulation de nature socio-politique concernant l'accès et le contrôle de la terre et des ressources qu'elle porte.

Les règles foncières locales sont composites et évolutives. Elles sont le produit d'une histoire. À des degrés variables, elles se sont hybridées avec les règles étatiques. Dire que les normes et les pratiques foncières relèvent d'une logique coutumière signifie que les principes sur lesquels elles se fondent s'appuient sur les principes de la vie en société dans la société locale, et non qu'elles sont « anciennes ».

L'intensification est d'abord une question de contexte économique et de rareté de la terre. Elle peut parfaitement exister en régime coutumier : en Afrique de l'Ouest,

l'expansion du maraîchage périurbain, du coton, du café/cacao s'est fondée sur des logiques foncières «coutumières».

Les systèmes fonciers coutumiers sont en général en mesure de garantir une sécurité foncière suffisante pour la production paysanne. Mais c'est à analyser au cas par cas. Des situations d'insécurité apparaissent principalement lorsque des acteurs externes (migrants ou urbains) s'installent sans respecter les règles locales ou lorsque les contradictions entre ces règles et la loi deviennent flagrantes.

En petite agriculture paysanne, le coût de l'accès au titre foncier est prohibitif et les paysans n'en ont en général nul besoin pour sécuriser leur accès à la terre, d'abord garanti par les règles locales et l'interconnaissance. C'est souvent pour se protéger des risques d'expropriation par des acteurs externes au milieu rural que les ruraux demandent des titres fonciers.

Comprendre un système foncier local demande une approche pragmatique, s'intéressant aux pratiques effectives, sans *a priori*. Il s'agit d'éviter tant les caricatures décrivant les systèmes fonciers locaux comme archaïques et figés que les idéalizations qui en font des règles équitables et démocratiques au sein d'une communauté soudée. Pour cela, il est nécessaire de disposer de grilles d'analyses rigoureuses, qui relèvent des sciences sociales.

● **Un vocabulaire biaisé**

Le «foncier» concerne l'ensemble des règles gouvernant l'accès, l'exploitation et le contrôle de la terre et des ressources naturelles. Chaque ressource fait l'objet de règles spécifiques et il est essentiel de s'intéresser à l'ensemble des activités productives.

Lié à l'histoire foncière européenne, le vocabulaire sur le foncier est biaisé et empêche le plus souvent de comprendre les réalités locales. Le terme «foncier» met l'accent sur le «fonds», la terre, là où les règles locales concernent en général d'abord les ressources : droit de prélever les ressources renouvelables, droit de planter et de récolter les fruits de son travail.

Au sens juridique, le terme de propriété renvoie à la propriété privée du code civil français. Cependant, dans les systèmes coutumiers, les différentes prérogatives foncières (droit d'exploiter, de gérer, etc.) peuvent être exercées à des niveaux différents de l'organisation sociale, avec une articulation variable entre prérogatives individuelles et régulations collectives.

Il peut y avoir propriété paysanne «fonctionnelle» (concentration des droits – d'appropriation, de gestion, d'exploitation – au niveau de l'unité de production) sans marché foncier ni titres.

Dans bien des cas, une approche en termes de «propriété» est donc fondamentalement inadaptée, ou tout au moins porteuse de confusion. Mieux vaut parler «d'appropriation foncière», terme qui ne présage pas des types de droits en jeu.

● **La question de la gouvernance : une pluralité de normes**

En régime coutumier, les règles foncières sont mises en œuvre au sein des groupes familiaux et au niveau des autorités politiques ou religieuses locales. L'antériorité d'occupation, la marque du travail sont souvent des critères de légitimité. Le contrôle social lié à l'interconnaissance et les pouvoirs magico-religieux des autorités locales

garantissent le plus souvent un respect des règles. Les conflits ou litiges sont portés devant une autorité qui statue.

Les Etats ont en général voulu imposer des règles foncières fondées sur des principes différents. Avec plus ou moins de succès, ils ont voulu combattre les particularismes et les pouvoirs locaux. Aux yeux de la loi, les seuls droits pris en compte officiellement sont les titres formels issus de l'immatriculation. L'essentiel des droits concrets détenus par les ruraux demeure dans l'inexistence juridique officielle. Faute de pouvoir ou de vouloir avoir accès aux dispositions du droit étatique, la quasi-totalité des ruraux demeure donc dans une précarité juridique aux yeux de l'Etat. C'est le cas notamment dans la plupart des pays francophones d'Afrique subsaharienne.

La dualité juridique sur le foncier en Afrique subsaharienne rurale

Depuis l'époque coloniale, la question foncière en Afrique se caractérise par une dualité juridique, entre les règles foncières locales, mises en œuvre par des pouvoirs locaux, et la législation étatique. En zones francophones, la législation coloniale visait à généraliser la propriété privée par la voie de l'immatriculation, procédure par laquelle l'Etat attribue des droits incontestables. Dans l'attente d'une future immatriculation, les terres dites «vacantes et sans maîtres»¹ sont intégrées au domaine de l'Etat. Les droits coutumiers sont, selon les pays et les périodes, niés ou reconnus du bout des lèvres. Inversement, les populations déniaient en général à l'Etat des droits sur les espaces qu'elles exploitent et contrôlent.

Après les indépendances, les Etats ont pour l'essentiel conservé les principes de cette réglementation, souvent renforcée dans le sens d'un contrôle étatique de la terre et des ressources. Les législations sectorielles (sur le pastoralisme, sur les forêts) accentuent le pouvoir des services techniques de l'Etat dans la gestion des ressources. À l'heure actuelle, le pourcentage de terres immatriculées demeure très faible, quelques pour cent du territoire, et se trouvent essentiellement en zones urbaines. Le dualisme juridique demeure, créant un flou sur les règles qui s'appliquent.

En phase avec les plans d'ajustement structurel et les politiques de privatisation, et sous la pression des institutions internationales, des réformes foncières visant à promouvoir la propriété privée ont été entreprises durant les années 80. Suite à la réticence des Etats et des populations, et aux réévaluations de l'impact de la propriété privée sur la productivité, les réformes actuellement en expérimentation visent davantage à sortir de la dualité juridique, en offrant un cadre juridique aux droits locaux. Diverses approches ont été expérimentées : gestion patrimoniale, plans fonciers ruraux. La décentralisation a parfois abouti, comme au Mali, à créer des domaines communaux, constitués des terres portant un aménagement d'intérêt communal. Mais au-delà des discours sur la gestion locale du foncier et des ressources, la volonté de l'Etat de reconnaître une certaine autonomie foncière locale reste souvent ambiguë.

La plupart des pays en développement se caractérisent ainsi par un dualisme juridique, issu de la coexistence, plus ou moins conflictuelle, de différents systèmes de règles foncières. Il s'agit même d'une pluralité juridique car, d'une part, il y a des incohérences et contradictions entre législations sectorielles, voire entre politique officielle et politique officieuse ; et, d'autre part, les systèmes fonciers locaux relèvent eux-mêmes d'un ensemble hybride de normes inspirées de différents registres juridiques (en Afrique de l'Ouest : coutumier, islamique, droit moderne).

Le décalage entre normes officielles et pratiques locales produit une incertitude sur les règles qui doivent s'appliquer dans un cas donné. Face au caractère abstrait et souvent peu applicable de législations qu'elles connaissent souvent mal, les autorités

¹ C'est-à-dire en fait la quasi-totalité des terres, quels que soient par ailleurs les droits coutumiers qui s'exercent sur elles.

administratives sont amenées à arbitrer tantôt en fonction de la loi tantôt en fonction des règles locales. C'est parfois productif, permettant des adaptations souples. Mais cette situation favorise le plus souvent les acteurs puissants ou bien informés, qui sont les mieux à même de jouer de la confusion : élites urbaines se faisant attribuer des terres, autorités monnayant leur arbitrage, etc.

Cette pluralité juridique se double d'une pluralité dans les instances d'arbitrage et de gestion foncière : des autorités coutumières locales d'un côté, des agents de l'administration de l'autre ont des prérogatives, officielles ou non, et jouent un rôle effectif. Souvent, d'autres acteurs interviennent aussi dans la gestion foncière : élus locaux, politiciens, responsables associatifs, services techniques de l'administration. Lorsque ces différentes instances agissent de façon non coordonnée, chacun sollicite l'instance qu'il juge la plus favorable à ses intérêts. Un arbitrage dans un sens peut être contesté auprès d'une autre instance. La pluralité des normes et la défaillance des systèmes d'arbitrage contribuent ainsi à favoriser les conflits et leur réapparition permanente, et à politiser les enjeux fonciers.

Le foncier est donc nécessairement une question politique. Un des enjeux essentiels de la régulation foncière tient aux questions de gouvernance : qui a légitimité pour édicter les règles, en surveiller la mise en œuvre, sanctionner les transgressions, arbitrer les conflits ? Cette question est d'autant plus délicate que la pluralité juridique est importante et que l'Etat a voulu contourner les autorités coutumières, qui restent dans bien des cas légitimes aux yeux des populations.

Après avoir longtemps cherché à substituer un système « moderne » à des systèmes coutumiers jugés archaïques et inefficients, les politiques foncières contemporaines prennent – de façon plus ou moins claire – acte des dynamiques des systèmes fonciers locaux. Elles cherchent à offrir aux ruraux une sécurisation foncière fondée sur la reconnaissance des droits locaux par l'Etat, et à promouvoir une régulation foncière basée sur l'articulation des régulations locales et étatiques. Clarifier les règles reconnues comme légitimes par les différents protagonistes et en assurer une reconnaissance par l'administration locale sont des enjeux essentiels.

REPÈRES POUR UN DIAGNOSTIC FONCIER

Les situations concrètes sont très diversifiées et il est difficile de proposer une grille universelle. L'orientation du diagnostic dépend de sa finalité : premier repérage, étude ciblée sur un enjeu opérationnel dont la dimension foncière paraît importante, etc. Dans tous les cas, une première caractérisation des grands types de règles d'accès à la terre et aux ressources, et une identification des instances jouant un rôle reconnu dans la gestion foncière sont indispensables. Toutefois, il ne s'agit que d'une première approche, et il faut être conscient que les pratiques effectives risquent de différer fortement des règles qui apparaissent à cette première étape. Une analyse plus fine, fondée sur les pratiques, est souvent indispensable. On ciblera alors les diagnostics fins en fonction des problématiques de l'intervention, en n'hésitant pas à recourir à des spécialistes.

On donnera dans les sections suivantes des repères pour caractériser les systèmes fonciers locaux et comprendre leurs modes de régulations. À chacun de les adapter en fonction des contextes de travail, des réalités agraires et des objectifs.

● **Le cadre général**

● **Histoire sociale et agraire régionale, politiques publiques et législations**

Le foncier est au cœur de l'histoire agraire. La connaissance des grands traits de cette histoire est nécessaire pour contextualiser le foncier : les grandes périodes de l'histoire régionale ont toutes les chances de correspondre, directement ou indirectement, à des enjeux particuliers d'un point de vue foncier. La périodisation sera reprise et affinée au niveau local, lors des enquêtes.

Les grands traits de l'intervention étatique sur le foncier doivent être identifiés et datés dès le début du diagnostic : grands traits du dispositif légal, institutions intervenant sur le foncier, opérations de terrain sur le foncier (cadastrage, plans fonciers ruraux, etc.) ou opérations à dimension foncière (expropriations, nationalisations, aménagements hydro-agricoles, fermes d'Etat, etc.).

● **Les outils du diagnostic foncier**

La littérature socio-anthropologique et historique est indispensable pour replacer le foncier dans son contexte historique, social et politique, toujours sous-estimé par les agents de développement. Mais l'essentiel relève de l'enquête de terrain, selon les règles de l'enquête qualitative, en veillant à la cohérence entre le type d'information recherchée et le mode d'enquête : ainsi, une réunion collective des chefs de lignage pourra éclairer sur les normes d'accès à la terre, pas sur les pratiques effectives (cf. le chapitre 11). Il faut être particulièrement attentif aux enjeux du foncier, et croiser les informations. À partir du moment où l'antériorité d'occupation légitime les revendications foncières, l'histoire du peuplement devient un enjeu stratégique !

● **Les normes et les pratiques**

Lorsqu'on interroge un acteur rural sur le foncier, il aura tendance à présenter la « théorie locale » : « *Ici, on fait comme ça* ». Ce sont les « règles normatives ». Mais les pratiques ne correspondent jamais exactement aux normes. Elles peuvent même être fort différentes, et bien plus variées. Toute enquête foncière doit donc distinguer entre les normes et les pratiques effectives. Sans être ouvertement reconnues, certaines pratiques peuvent être généralisées et tacitement admises, et faire l'objet de procédures locales relativement standardisées : des ventes de terres, en principe interdites par la coutume, par exemple. Elles relèvent alors de « règles pragmatiques », non formulées, mais reconnues en pratique. Selon l'interlocuteur et la façon de mener les enquêtes, on peut alors découvrir ou passer complètement à côté de ce type de pratiques...

Des enquêtes auprès des ménages sont indispensables, tant pour comprendre les pratiques que pour reconstituer l'assise foncière des exploitations.

Pour rendre l'information plus visuelle, les cartes, photos aériennes, schémas sont des supports très utiles, permettant de localiser les informations, aussi bien historiques (histoire du peuplement) que foncières.

● **La construction sociale du territoire**

Le foncier traduit dans l'espace les rapports sociaux. Il n'y a jamais – ou presque – de terres « vacantes et sans maîtres », sur lesquelles aucun contrôle coutumier ne s'exerce.

À l'organisation physique du paysage se superpose une organisation sociale de l'espace, caractérisée par des implantations humaines reliées par des liens historiques et politiques. La première étape consiste à repérer les grandes unités socio-foncières et les différents pouvoirs qui s'exercent sur l'espace et les ressources, à les localiser, à situer leur zone d'influence, à caractériser leurs prérogatives actuelles. On se situe là à l'échelle de la petite région.

● L'histoire de l'organisation sociale du territoire

Les droits de culture ou d'exploitation d'une ressource découlent en général d'un contrôle sur l'espace issu d'une première occupation de zones «vierges», ou de rapports d'alliance établis entre des groupes sociaux arrivés ultérieurement avec ceux qui détiennent ce contrôle territorial. Les pouvoirs sur les terres et les ressources naturelles relèvent souvent du politique et du magico-religieux.

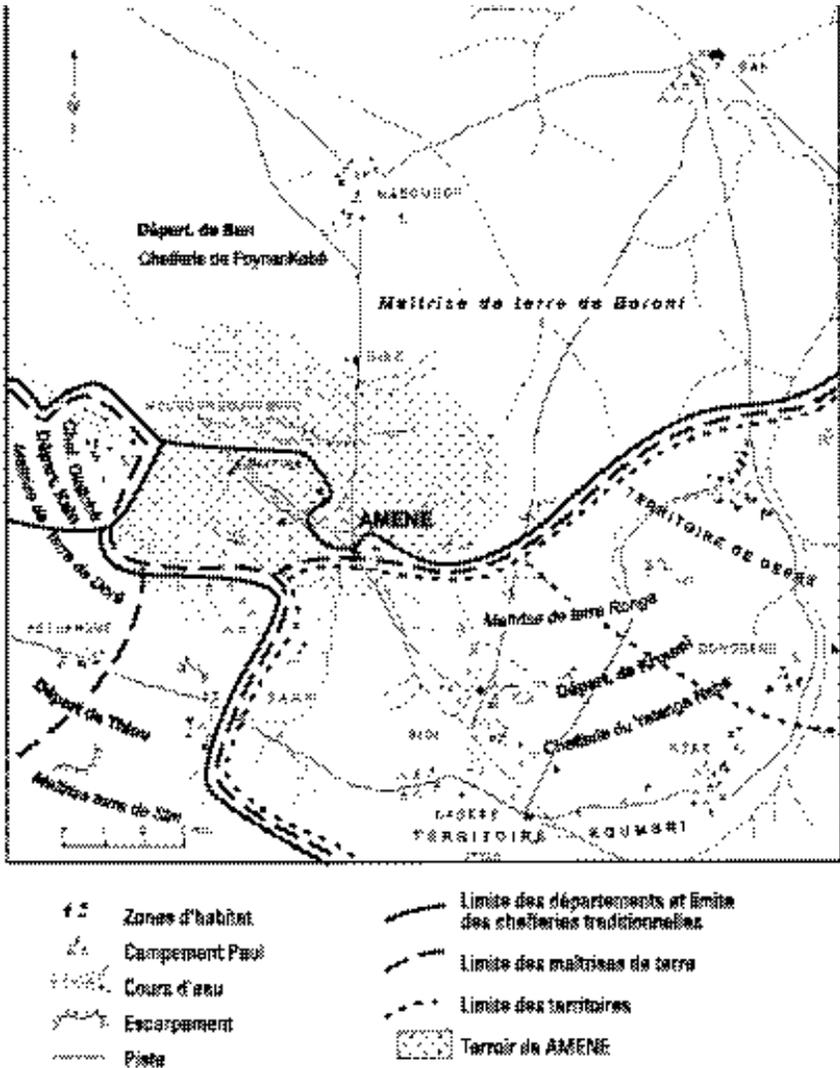
Au Sahel, on peut identifier des «maîtres de terre», descendants des fondateurs, détenant un contrôle territorial d'origine magico-religieuse sur un espace, et habilités à autoriser les défrichements. Ils ont affecté des portions de brousse à des lignages «installés», venus renforcer leur poids politique. Alliés par des échanges matrimoniaux, ces derniers sont autonomes sur leur domaine lignager. Suite à l'accroissement démographique, des hameaux de culture ont été fondés, qui sont devenus des villages, avec une autonomie foncière partielle.

Parfois, des villages de guerriers ou de captifs ont été installés par un royaume précolonial, qui a pu effectuer des dotations de terre à ses alliés. Suite à des conquêtes, le pouvoir politique a pu être dissocié du pouvoir foncier. Des «étrangers», arrivés après la répartition de la brousse et sans liens matrimoniaux avec les «autochtones», ont obtenu des affectations de droits de culture. Dans les zones de front pionnier, des hameaux de migrants ont été créés, dont le chef a géré de façon autonome l'arrivée de nouveaux migrants. Parfois, l'Etat a installé des villages de colonisation, sur un espace théoriquement «purgé» des droits coutumiers.

L'histoire du peuplement (l'arrivée successive des différents groupes sociaux, leur origine, leur mode d'installation), en rapport avec l'histoire politique régionale permet d'identifier les groupes ou familles qui détiennent (ou détenaient historiquement) un contrôle sur certaines portions d'espace, et les rapports entre ces groupes. Les maîtrises territoriales concernent fréquemment des micro-régions correspondant à des unités politiques historiques : le «village» n'est pas toujours une unité foncière pertinente. Le diagnostic nécessite de :

- > localiser sur une carte, au moins grossièrement, les lieux de pouvoir foncier ;
- > localiser si possible, au moins grossièrement, les espaces qu'ils contrôlent, ou certaines de leurs limites (parfois contestées) ;
- > identifier les interdépendances entre lieux d'habitation (hameaux ou villages), qui n'ont pas tous nécessairement le même degré d'autonomie sur le plan foncier.

Représenter schématiquement ces «trames territoriales» permet alors de visualiser le statut foncier des différents lieux d'habitation, leurs interdépendances, les autorités ou les lieux dont ils relèvent et d'identifier les différents pouvoirs (éventuellement en concurrence ou contestés) qui s'exercent sur une portion d'espace donnée.



Cartographe GREGOIRE-GUEBA

Source: Guadagna M., in Bouya et Marimé, 1988, *Analyse socio-écologique des trames foncières dans le département de Koum, fasc.3*; Projet études Nord Yatenga.

► Figure 1 : Les trames territoriales à Amené (Nord Burkina Faso)

Il s'agit également d'analyser si ces autorités jouent désormais un rôle dans la régulation foncière, et lequel ? Un pouvoir ancien n'a, en effet, pas nécessairement de réalité actuelle.

Le contrôle de l'espace ne prend pas toujours une forme «géométrique», marquée par des limites claires et jointives. Souvent, le contrôle de l'espace est de type «topocentrique» : il s'exerce à partir d'un lieu (le lieu de fondation, par exemple), la capacité de contrôle se distendant avec l'éloignement du centre de pouvoir. On a ainsi des limites floues avec un *no man's land*, éventuellement contesté, entre deux unités territoriales.

Lorsque les activités d'exploitation relèvent de réseaux, il n'y a pas de «territoire» en tant que tel : ainsi au Cameroun forestier, les terres agricoles ne représentent qu'un espace réduit autour des villages, la chasse, l'extraction et la cueillette étant les activités principales. Un village ne contrôle pas une portion de forêt, mais les arbres exploités sont appropriés, et des pistes de chasse sont matérialisées, sur lesquelles le chasseur a l'exclusivité. On a ainsi une série de points et de réseaux, préférentiellement organisés autour des villages, qui s'entrecroisent et s'interpénètrent.

Il faut enfin faire attention au pouvoir de la carte : il est important de noter le caractère imprécis ou contesté de certaines informations et de résister à la tentation de délimiter des unités aux limites clairement définies si ce n'est pas le cas.

Là où l'Etat est fortement intervenu, les trames foncières peuvent être radicalement différentes. Dans les plaines rizicoles du Cambodge, la collectivisation a effacé toute trame de système « coutumier ». La redistribution des terres s'est effectuée il y a une dizaine d'années sous l'égide des anciennes brigades de production, rassemblant une série de familles d'un même village. On a aujourd'hui une propriété individuelle de fait, issue de cette redistribution, l'ancien chef de brigade de production continuant à assurer un rôle très lâche d'arbitrage.

Dans ce type de situation (décollectivisation), c'est sur l'étape suivante que doit se consacrer l'essentiel du travail : la trame foncière actuelle est en effet peu liée à la trame foncière ancienne et les mécanismes de régulation foncière ont été profondément modifiés.

● L'impact de l'intervention publique

L'action de l'Etat superpose à l'organisation spatiale précédemment décrite un autre découpage (limites de localités, d'arrondissement) qui marque la zone d'influence des représentants locaux de l'Etat : quelles que soient leurs prérogatives officielles en matière foncière, ils interviennent dans la politique locale et dans l'arbitrage des conflits fonciers. Dans certaines régions ou sur certains espaces, l'Etat a imposé un statut foncier différent : aménagements hydro-agricoles, forêts classées, plantations industrielles, villages de colonisation, etc. Ces interventions publiques créent de nouvelles règles foncières, valables sur l'espace aménagé. Elles sont parfois acceptées : lorsque les aménagements hydro-agricoles concernent les populations locales, la redistribution des terres ne pose en général pas de problème, et le «permis d'exploiter» accordé par l'Etat est considéré comme un droit d'exploitation transmissible. Mais ces interventions publiques peuvent être à l'origine de contestations ou de zones d'ombre sur le statut de certains espaces : expropriations non acceptées, ou non légalisées et remises en cause en cas de changement politique, limites fluctuantes des aires protégées, etc.

Lors du diagnostic, le travail consiste donc à :

- > repérer les unités administratives et les localiser sur le schéma des trames territoriales. Identifier les acteurs disposant de prérogatives officielles en matière foncière, et celles qu'ils exercent en réalité ;
- > repérer et localiser les principaux lieux où l'Etat a introduit de nouvelles règles foncières, leur effectivité, l'existence ou non de contestation.

● **L'appropriation et le contrôle des ressources**

Sauf exception, l'accès à la terre et aux ressources renouvelables fait l'objet de systèmes de règles. Mais les formes de contrôle sont plus ou moins rigoureuses selon la ressource, son statut, sa rareté, allant d'un accès quasi-libre à une appropriation privée stricte.

La complexité apparente des systèmes fonciers locaux vient du fait que :

- > les modes d'appropriation et de contrôle dépendent de la ressource en question, et du contexte écologique et social local ;
- > ils prennent des formes multiples, qui dissocient fréquemment le contrôle de la ressource et le droit de l'exploiter.

À l'échelle d'un village ou d'une grappe de villages, analyser les modes d'appropriation des ressources consiste à :

- > identifier les différentes ressources utilisées ;
- > repérer sur quels espaces s'exerce leur exploitation et qui sont les usagers effectifs ;
- > identifier les autorités qui régulent l'accès et l'exploitation de cette ressource ;
- > analyser les règles d'accès et de contrôle de la ressource ;
- > analyser les éventuels décalages entre règles et pratiques.

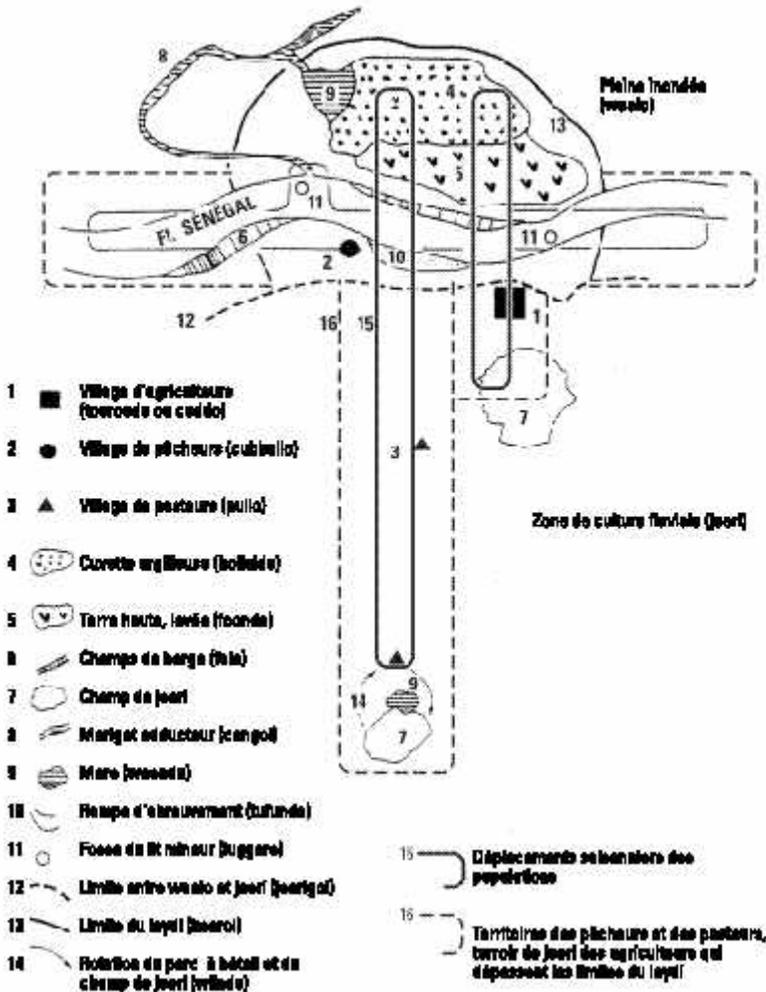
● **La notion d'espace-ressource**

Une ressource naturelle n'est «ressource» que pour autant qu'elle fasse l'objet d'un usage. Les différentes activités d'exploitation du milieu s'exercent sur des espaces différents, avec des variations saisonnières. Une même portion de territoire peut faire l'objet d'usages différents, simultanément ou successivement. Une même activité peut s'exercer sur des espaces différents. Les modes d'accès et d'exploitation s'exercent sur un «espace-ressource», c'est-à-dire un espace donné, pour une ressource donnée, en une saison donnée.

Ces différents usages peuvent relever d'un même groupe social ou bien de différents groupes socio-ethniques ayant des spécialisations professionnelles.

Dans la moyenne vallée du Sénégal

L'espace est organisé en *leydi*, territoires agro-halo-pastoraux, qui englobent les différentes facettes du paysage. L'exploitation du milieu combine agriculture, élevage et pêche, rythmée par la crue du fleuve, qui inonde les cuvettes argileuses. En saison des pluies, les terres hautes sont cultivées en cultures pluviales, les troupeaux sont dans les pâturages lointains, les poissons se reproduisent dans les cuvettes. Après la décrue, les pêcheurs exploitent les fosses du lit mineur ; les cuvettes et les bourrelets de berge sont cultivés respectivement en sorgho et légumes, les troupeaux pâturent les résidus de récolte des champs pluviaux. En seconde partie de saison sèche, la pêche se concentre dans les dépressions du lit mineur, les troupeaux ont accès aux cuvettes de décrue. Le tout est organisé sous l'égide des *jom leydi* (maîtres du territoire).



BOUTELLER J.L. ET SCHMITZ J., 1987, « Gestion traditionnelle des terres et transition vers l'irrigation. Le cas de la vallée du Sénégal ». Cahiers des sciences humaines, Paris, 23 (3-4) : pp.533-554

► Figure 2 : Ecologie politique du territoire dans la moyenne vallée du Sénégal

● Les maîtrises foncières

Là où une ressource ne relève ni d'une propriété privée, ni d'un accès libre, les modes d'appropriation de la ressource se décrivent en croisant les types de droits détenus et le niveau d'organisation sociale auquel ils sont exercés.

On peut distinguer différents droits, qui peuvent être ou non cumulés :

- > *droits «opérationnels»* : droit d'accès et de passage, droit de prélèvement, droit d'exploitation (droit de cultiver et de récolter le fruit de son travail) ;
- > *droits «d'administration» des droits opérationnels* : droit de gestion interne (droit de répartir et de réglementer l'usage de la terre, au sein du groupe familial), droit d'inclusion/exclusion (droit autoriser ou interdire l'accès à d'autres), droit d'aliénation (droit de disposer librement de tous les droits précédents).

Ces droits peuvent être exercés à un niveau ou à un autre de l'organisation sociale (individu, groupe familial restreint, lignage ou segment de lignage, autorités foncières) et relever d'un groupe de parenté ou bien de groupes plus étendus. En outre, les ayants droit détenteurs de droits d'exclusion peuvent accorder des droits d'accès et de prélèvement à des acteurs extérieurs au groupe social qui contrôle une ressource : accueil temporaire de pasteurs, différentes formes de délégation de droit de culture, etc. La théorie des maîtrises foncières permet de décrire ces différents cas de figure.

Ainsi, en logique lignagère, les droits de culture sont en général contrôlés au niveau d'un individu ou d'une unité économique, la gestion foncière relevant d'entités sociales plus larges : unité de production, segment de lignage. Seuls les individus détenant un droit d'exclusion ou d'affectation peuvent déléguer un droit d'exploitation à un tiers. On ne peut parler de «propriété» au sens strict lorsque l'ensemble de ces droits sont concentrés sur le même individu ou unité de production. En Afrique soudano-sahélienne, c'est le cas lorsque, suite à l'éclatement des unités de production et à la perte d'influence des lignages, la gestion foncière a lieu essentiellement au niveau des unités de production.

Maitrise d'appropriation Maitrise de la gestion	Maitrise individuelle (foncier) droit d'accès	Maitrise prioritaire (usage) droit d'accès et d'extraction	Maitrise spécialisée (passation) droit d'accès, d'extraction et de gestion	Maitrise exclusive (propriété foncière) droit d'accès, d'extraction, de gestion et d'exclusion	Maitrise exclusive et absolue (foncier) droit "d'usage et de disposition", et droit d'aliéner
PUBLIC ouvert à tous	Cares saïées pour les troupeaux (Sahel)	Puits et forages non affectés (Sahel)		Forêts classées du statut de l'Etat (Côte d'Ivoire), puits et forages affectés (Sahel)	Forêts non classées du statut national (Cameroun)
EXTERNE ouvert à plusieurs groupes		Echange de droits de surface d'un troupeau forestier		Aires forestières servant de réserves fauniques aux villageois	
INTERNE-EXTERNE Commun à deux groupes (par alliance ou contrat)			Forêt communautaire commun à deux villages (Cameroun)		
INTERNE Commun à un groupe (famille, lignage, village, région, nation, etc...)		Aires Maabi désignées (Cameroun) Finsage forestier villageois	Concession d'exploitation de bois d'œuvre	Champs cultivés en jachères familiales Aires Maabi proches (Cameroun)	Arbres de valeur commerciale appartenant collectivement au village ou à une famille et vendus aux exploitants
PROVÉ Propre à une personne					Propriété privée immatriculée

KARSENTY, 1998, « Différentes formes de droits dans l'accès et la gestion des ressources en Afrique et à Madagascar », in table ronde *Dynamiques sociales et environnement*, Bordeaux, Regards, tome 3, pp.637-645, d'après LE ROY et al, 1996.

► **Figure 3 : Grille des maîtrises foncières/fruitières : quelques exemples africains**

● Des règles spécifiques aux différentes ressources

Les différentes ressources renouvelables font l'objet de règles spécifiques, mises en œuvre par des autorités parfois différentes. En Afrique soudano-sahélienne on peut ainsi rencontrer un maître de terre, un maître de la brousse, un maître des eaux, un chef des chasseurs ou des pêcheurs, etc.

L'antériorité d'occupation et la marque du travail sont deux formes fréquentes d'appropriation : la marque du travail octroie un bénéfice exclusif. Ainsi, celui qui a semé contrôle la terre jusqu'à la récolte ; une jachère est appropriée par le groupe familial qui l'a défrichée ; un investissement permanent (puits, terrasses, etc.) ou une plantation d'arbre confèrent en général des droits permanents et transmissibles. Ce principe explique en partie la différence de statut entre le foncier agricole et le foncier des ressources naturelles renouvelables, qui sont prélevées, mais non produites.

De plus, alors que les terres agricoles sont appropriées au niveau des unités familiales, ces ressources renouvelables sont en général «communes» à différents groupes familiaux, non pas au sens où elles seraient appropriées en commun et gérées de façon démocratique, mais au sens où ces différents groupes disposent ensemble de droits de prélèvement sur cette ressource, sous l'égide d'une autorité qui en contrôle l'accès et les règles d'exploitation.

Pour chacune des ressources, le diagnostic doit permettre de répondre aux questions suivantes :

- > qui sont les ayants droit directs (du fait même de leur appartenance au groupe) ?
- > y a-t-il des «utilisateurs autorisés», qui ne sont pas ayants droit, mais ont obtenu le droit de prélever ou d'exploiter ?
- > y a-t-il des utilisateurs non autorisés ?
- > quel pouvoir détient-il les droits d'administration de la ressource ?
- > quelles sont les règles d'exploitation ?
- > y a-t-il conflit sur l'accès, les règles d'exploitation, les instances d'arbitrage ?

La diversité des règles renvoie aux caractéristiques propres de la ressource, mais aussi à des principes locaux. Le contrôle des ressources naturelles relève souvent de pouvoirs magico-religieux, des rituels étant nécessaires pour assurer une chasse fructueuse, pouvoir défricher une brousse, garantir la fertilité des terres agricoles. Là où ils existent, ces rituels scandent aussi le calendrier d'exploitation, ouvrant la saison de la chasse, de la pêche ou des semis.

Outre les modalités d'accès à la ressource, les techniques d'exploitations peuvent aussi être réglementées, autorisant une technique (de pêche ou de chasse, de défrichement) et en interdisant d'autres. Enfin, là où différents usages coexistent ou se superposent, des règles régissent leur cohabitation : succession dans le temps, non-interférence : gardiennage de nuit des bêtes, clôture des champs ou au contraire exclusion du bétail des zones cultivées, etc.

Au Sahel, les pâturages ne sont pas appropriés directement. Le contrôle de l'accès aux pâturages s'exerce via le contrôle des points d'eau, l'accès à l'eau étant indispensable pour pouvoir exploiter un pâturage. Les points d'eau naturels sont d'accès libre. Les points d'eau artificiels sont appropriés par ceux qui les ont créés. Du fait des aléas saisonniers, la mobilité est essentielle pour le pastoralisme.

Pour préserver cette mobilité, une réciprocité de l'accès à l'eau (et donc aux pâturages) est nécessaire : un propriétaire de puits ne refusera pas l'accès à un troupeau de passage, mais pourra définir la durée du séjour, en fonction de l'état de la ressource. Il dispose ainsi d'une maîtrise prioritaire, mais non exclusive, sur les ressources qu'il contrôle, un droit d'accès étant garanti aux «étrangers».

Les droits de chasse et de cueillette peuvent être exclusifs sur un espace donné : en Afrique centrale, la pose de pièges sur une piste de chasse est réservée à celui qui a créé la piste et installé les pièges, tant que ceux-ci sont en état de fonctionner.

Les droits sur l'arbre sur les terres agricoles sont fréquemment dissociés des droits de culture sur la parcelle ; ils peuvent être différents pour la cueillette des fruits, l'élagage des branches, l'abattage du tronc, etc.

Les règles peuvent varier selon la saison et le type de ressource : règles différentes pour les pâturages de brousse d'hivernage, la vaine pâture sur les champs récoltés, le pâturage de saison sèche en bas-fond.

Sur la carte des maîtrises foncières, on peut localiser les zones contrôlées par tel ou tel groupe social et les groupes sociaux détenteurs de droits d'exploitation ou de prélèvements.

Les règles d'accès et de contrôle des ressources sont enfin évolutives. Lorsqu'une production apparaît ou se développe, de nouvelles règles foncières, spécifiques, se mettent en place. Les règles évoluent aussi en fonction des évolutions du contexte. Elles peuvent devenir plus exclusives :

- > restriction des droits accordés à des tiers, au profit de tel ou tel groupe d'ayants droit ;
- > restriction sur les règles d'exploitation (interdiction de telle ou telle technique) ;
- > appropriation de nouvelles ressources : amasser et stocker les résidus de récolte, par exemple, entraîne une privatisation d'une ressource auparavant commune ;
- > ou au contraire se relâcher, voire aboutir à des situations de libre accès, de fait.

● **L'assise foncière des exploitations**

Pour assurer leur reproduction économique et sociale, les unités de production contrôlent et mettent en culture un certain nombre de parcelles agricoles. Les différenciations dans l'accès à la terre sont souvent une des sources majeures de différenciation économique, avec des implications fortes sur la trajectoire des unités de production (cf. chapitre 31).

● **Les modes d'accès à la terre**

Les modes d'accès à la terre dépendent étroitement des contextes sociaux. En Afrique, l'accès à la terre est étroitement lié aux identités sociales : il dépend du statut social du groupe familial, et de la position de la personne en son sein : jeune non marié, jeune chef de ménage, femme, etc. En général, certaines familles détiennent un contrôle foncier lignager, et les autres n'ont accès à la terre que par l'établissement de relations de clientèle avec elles. Au niveau des unités de production, les droits sur les terres agricoles sont en général des droits saisonniers d'exploitation, et non des droits d'appropriation du «fonds» lui-même. On ne peut donc parler de *propriété* au sens propre.

Lorsque la terre est disponible, la défriche est un mode important d'accès à la terre, et la surface cultivée par les exploitations dépend essentiellement de leur force de travail (et du matériel agricole). La taille du groupe familial est alors discriminante. Lorsque l'espace agricole est fermé, l'héritage et les transactions deviennent déterminants, et des différenciations importantes peuvent se produire.

Des interviews de notables ou de personnes ressources peuvent permettre d'identifier les grands traits des modes d'accès à la terre (défriche, héritage, achats, dons, faire-valoir indirects, etc.). Néanmoins, des enquêtes individuelles sur échantillon raisonné sont indispensables pour identifier les pratiques effectives et les écarts à la norme, ou encore pour quantifier les phénomènes.

● La dynamique foncière et la différenciation

La dynamique foncière s'analyse à deux niveaux :

- > à l'échelle locale ou micro-régionale, on peut analyser les évolutions dans les grands modes d'accès à la terre, les événements qui ont des répercussions foncières ; on identifie aussi les types d'exploitation qui sont en extension et ceux qui cèdent des terres, temporairement ou définitivement ;
- > à l'échelle des exploitations, on peut suivre la trajectoire d'unités familiales. Dans les systèmes où la taille des unités de production peut varier de quelques individus à plusieurs dizaines, le cycle de segmentation des unités familiales détermine la trajectoire foncière des exploitations. Dans les exploitations réduites au ménage, le cycle démographique du ménage est déterminant.

Cette analyse permet de comprendre comment évolue la distribution de la terre entre les exploitations, ainsi que les relations entre exploitations : qui vend et qui achète ? Qui prend des parcelles en droits délégués et qui en donne ? Qui fournit de la main-d'œuvre à qui ? On peut alors caractériser les processus de différenciations foncières et analyser leurs répercussions sur les systèmes de production et les performances économiques. L'analyse foncière rejoint alors l'analyse de la diversité des exploitations et de leurs trajectoires (cf. chapitre 31).

Le lien entre différenciation foncière et différenciation économique n'est cependant pas mécanique : d'une part certains types de terrains et les systèmes de culture correspondant peuvent avoir un enjeu économique déterminant, même avec de faibles surfaces ; d'autre part, les déterminants économiques de la différenciation peuvent se situer ailleurs, notamment dans les activités non-agricoles.

Dans le delta du fleuve rouge, au Vietnam, la répartition des rizières, dix ans après la décollectivisation, demeure étonnamment égalitaire. Cela n'empêche pas des différenciations économiques rapides, visibles à travers l'habitat : les enjeux économiques sont dans l'élevage de porcs, les vergers, les activités commerciales.

● **Les modes de régulation foncière**

Un système foncier n'est pas l'application mécanique d'une série de règles strictes. Il y a toujours débat sur l'application des règles et besoin d'arbitrage. C'est encore plus vrai lorsque différents principes et règles, différentes autorités, coexistent. Au-delà des règles et de la répartition des terres, il faut comprendre les modes concrets de régulation. Là encore il ne faut pas en rester à la description des prérogatives officielles des acteurs, mais s'intéresser aux modes effectifs de régulation foncière, tels que les révèle l'analyse de l'insécurité, des conflits, des itinéraires de sécurisation foncière.

● **Acteurs et dispositifs locaux d'administration foncière**

Différents pouvoirs jouent un rôle dans la gestion foncière, à l'échelle locale ou micro-régionale. Le dispositif étatique prévoit un certain nombre d'instances, à l'échelle locale et supra-locale : administration territoriale, élus, services techniques déconcentrés, justice, police ou gendarmerie, commissions foncières d'arrondissement... Les ONG ou projets ont pu créer eux aussi des instances. Mais le dispositif formel ne dit pas grand chose des pratiques effectives. Certains acteurs peuvent ne pas être à même de jouer leur rôle. D'autres acteurs, formels ou informels, peuvent au contraire être très influents.

Au-delà du schéma formel, il est important de comprendre les mécanismes effectifs de la régulation foncière : qui est mobilisé ? Dans quel cas ? Comment se font les arbitrages sur des conflits ? Quelles sont les procédures, même informelles, qui sont suivies ? Y a-t-il une régulation effective, au sens où ces différents acteurs trouvent une façon de collaborer qui favorise le règlement des conflits ou bien au contraire l'éclatement des pouvoirs sur le foncier aboutit-il à des arbitrages contradictoires, rendus par des instances différentes, favorisant la reproduction ou l'escalade des conflits ?

● **Insécurités diverses et sécurisations foncières**

La sécurité foncière est indispensable pour la paix sociale comme d'un point de vue productif : une incertitude sur le fait de pouvoir bénéficier des fruits de son travail réduit les incitations à investir dans des actions à moyen terme. La sécurité foncière ne dépend pas seulement de la nature des droits détenus, mais aussi – et surtout – du fait qu'ils ne seront pas contestés sans raison, et qu'ils seront confirmés en cas de contestation non fondée. La question de la sécurité foncière renvoie donc directement aux questions d'arbitrage.

Les contradictions entre normes locales et légales entraînent fréquemment une insécurité foncière potentielle : les droits des ruraux ne sont pas reconnus légalement. Mais ceci n'a pas nécessairement de répercussion concrète, si les règles locales sont reconnues par tous. De même, une situation de forte compétition foncière ne provoque pas forcément d'insécurité, si cette compétition a lieu au sein de règles partagées. Un migrant n'est pas toujours en situation d'insécurité, même s'il ne cultive que des terres en droit délégué, si ses relations avec son tuteur sont cordiales, s'il a acquis une position économique importante, ou si l'État appuie les mouvements migratoires dans cette région. À l'inverse un ayant droit lignager peut être en insécurité si ses droits ne peuvent être exercés ou garantis. L'insécurité foncière dépend donc beaucoup des contextes et des rapports de force.

Enfin, un contexte marqué par une insécurité juridique potentielle et une évolution rapide des droits n'aboutit pas nécessairement à une insécurité et à des conflits. Ainsi, même si elles ne sont régies par aucune règle normative, locale ou étatique, les transactions foncières peuvent faire l'objet de règles pratiques assurant une certaine sécurité : recours aux témoins, validation par une autorité locale, recours à un contrat écrit qui, sans que son contenu soit complet, suffit à attester l'existence de la transaction. Il existe ainsi fréquemment des processus de sécurisation foncière, mobilisant tant des autorités locales que l'administration territoriale locale, et qui, bien qu'informels, assurent une certaine stabilisation du jeu foncier.

Face à des situations d'insécurité, les acteurs ne restent en effet pas inactifs, et tentent de stabiliser leurs droits par différents moyens : alliances matrimoniales avec les autochtones, renforcement du lien de clientèle et des aides et cadeaux donnés aux tuteurs, restrictions sur les arrangements, recours à l'écrit ou aux témoins, volonté d'impliquer l'administration locale etc. Il faut aussi enquêter sur ces pratiques de sécurisation, c'est-à-dire les processus par lesquels les droits sont reconnus et garantis.

On s'intéressera donc aux formes concrètes que prend l'insécurité foncière, pour en comprendre les causes et identifier qui en souffre. Il est préférable d'éviter de parler d'insécurité en général pour, au contraire, décrire et caractériser précisément les formes effectives d'insécurité foncière, et analyser qui elles concernent, et comment elles se matérialisent. Pour les différents statuts fonciers et types d'acteurs, il faut donc vérifier l'existence ou non d'insécurité effective, ses formes, et ses conséquences. Cette insécurité peut être d'ordre juridique, contractuel ou institutionnel.

● La régulation de l'accès aux ressources communes

Une gestion durable des ressources «communes» est possible s'il existe des règles effectives en contrôlant l'accès et l'exploitation. De fait, dans la majorité des cas, l'exploitation des ressources naturelles renouvelables n'est pas totalement libre. Il est réservé, dans le respect de certaines règles d'exploitation, à certains acteurs : soit la ressource est contrôlée par un groupe social donné et l'accès réservé à ses membres et aux groupes alliés, soit le geste même de prélever confère un droit exclusif.

Les conditions favorables à l'émergence ou au maintien de ressources communes les plus fréquemment citées sont les suivantes :

- > des ressources relativement rares, représentant un enjeu important pour les acteurs, et pour lesquelles la gestion individuelle est coûteuse ou inefficace ;
- > des droits exclusifs, sur un espace clairement délimité, pour des ayants droit identifiés ;
- > un système de règles, légitime et efficace, garanti par un système d'autorité légitime ;
- > des ayants droit partageant des principes communs de vie sociale ;
- > l'absence d'opposition de l'Etat à ce mode de gestion.

Des règles ne sont efficaces que s'il y a des mécanismes de surveillance et de sanction pour les transgressions. Les sanctions doivent être effectives et graduelles. Des mécanismes, associant les ayants droit, sont nécessaires pour renégocier et modifier les règles.

L'effectivité de la régulation de l'accès aux ressources renouvelables demande cependant une analyse empirique car :

- > toutes les ressources ne relèvent pas de systèmes élaborés de gestion ;
- > alors que la théorie met l'accent sur des communautés homogènes, les systèmes de contrôle sont étroitement liés à la structure socio-politique, et donc aux inégalités sociales et statutaires ; les usagers sont souvent hétérogènes ;
- > les évolutions foncières et sociales peuvent remettre en cause les règles ;
- > dans bien des cas, les conditions d'une gestion «en commun» ne sont pas réunies : forte intervention de l'Etat en contradiction avec les règles locales, présence d'acteurs «externes» ne partageant pas les normes et les modes de contrôle social local, augmentation de la pression économique sur la ressource.

Il convient donc d'analyser, pour les différentes ressources renouvelables :

- > s'il y a des règles locales d'accès et d'exploitation ;
- > quelles sont les instances locales ayant pouvoir sur ces ressources ?
- > s'il existe des contradictions avec les règles et instances étatiques ;
- > s'il existe des usagers non autorisés et des comportements opportunistes et dans quelle mesure les systèmes d'autorité veulent et sont capables de réguler les abus.

● **Les conflits et leur résolution**

Les conflits sont inhérents à la vie sociale. Ils sont une des formes de la compétition pour les ressources et un des moyens par lesquels évoluent les règles. L'accent actuel mis sur les conflits fonciers ne doit pas conduire à idéaliser une situation «ancienne» où une communauté idéale aurait vécu en parfaite harmonie.

La définition de ce qu'on appelle *conflit* est délicate : entre des désaccords et des litiges qui se règlent au sein du groupe familial, et des conflits violents, impliquant de nombreux acteurs et l'intervention de la force publique, il existe une large gamme de situations intermédiaires.

L'intérêt de l'analyse des conflits est qu'ils sont révélateurs, tant des dynamiques sociales et des enjeux autour du contrôle des ressources, que des différents groupes stratégiques en présence et des modes effectifs de régulation. Cette analyse ne doit cependant pas conduire à surestimer l'ampleur des conflits, et faire oublier tous les litiges qui se règlent sans faire de bruit : les procédures de prévention et de régulation des conflits sont tout aussi importantes à cerner.

Les conflits fonciers ne sont pas la conséquence mécanique de la pression sur les ressources : ils sont très fréquents en zone de colonisation ; ils sont souvent révélateurs des défaillances des systèmes d'arbitrage.

Analyser les conflits signifie :

- > repérer les principaux types de conflits existant dans la région, et identifier les grands types d'enjeux et d'acteurs concernés ;
- > pour un certain nombre de conflits, procéder à une étude plus approfondie, en croisant différentes sources pour reconstituer leur histoire, les acteurs, l'origine et l'objet du litige, les argumentaires des parties et la ou les légitimités auxquelles ils se réfèrent, les différentes étapes du conflit, les acteurs mobilisés pour arbitrer ou intervenir comme médiateur, l'issue du conflit.

L'analyse fine permet ainsi de distinguer les différents types de conflits et les éléments de contexte qui les favorisent, d'analyser dans quelles circonstances et selon quels processus des litiges s'enveniment et éclatent parfois avec une violence inattendue, de comprendre la façon dont les différents pouvoirs et autorités sont ou non mobilisés, et l'impact de leur intervention. Elle permet aussi de comprendre les fondements des conflits qui, au-delà du simple accès à la terre, mettent fréquemment en jeu des questions de pouvoir et d'identité, et les arguments que mobilisent les uns et les autres pour justifier leur position.

L'analyse des différentes interventions visant à pacifier la situation et à résoudre le problème aux différentes étapes du conflit constitue un excellent révélateur des modes concrets de régulation foncière, des autorités mobilisées selon le type de litige, des principes à partir desquels ils statuent, de l'efficacité de leur intervention.

Enquêter sur les conflits est cependant délicat, du fait de la tension qui leur est liée. Il convient de croiser les sources d'informations, de recueillir autant de versions que possible, de la part d'acteurs diversifiés. Il est également intéressant d'étudier des litiges mineurs ou aisément réglés.

LES ENJEUX FONCIERS D'UN AMÉNAGEMENT

Tout aménagement intervient sur un espace où s'exercent des droits. Transformant la valeur des ressources, il suscite des convoitises. Là où il implique une redistribution des droits, il peut provoquer une spoliation partielle ou totale des ayants droits antérieurs. Bien souvent conçus selon une logique trop technique, les aménagements spécialisent l'espace, déstructurant les complémentarités d'usages sur un même espace et excluant certains usagers.

Enfin, faute d'avoir négocié les règles d'accès et d'exploitation qui vont s'appliquer après l'aménagement, l'intervention favorise des situations d'accès libre sur des ressources de valeur, aggravant la compétition, la surexploitation, et les conflits pour tenter de s'adjuger des droits exclusifs. C'est le cas de tous les reboisements «communautaires» qui laissent dans le flou la question de qui, et selon quelles modalités, pourra exploiter les arbres.

Tout aménagement doit donc faire l'objet d'une réflexion *ex-ante* sur ses enjeux fonciers, et d'une négociation préalable sur les règles d'accès et d'exploitation post-aménagement. Déterminant la distribution entre les acteurs des avantages potentiels de l'aménagement, ces règles représentent un enjeu essentiel, et on ne peut les laisser dans le flou sans risque.

● **Les groupes stratégiques² et les enjeux latents**

Au-delà du diagnostic foncier régional (cf. chapitre 211), un diagnostic pré-aménagement centré sur la zone à aménager est indispensable pour repérer les pouvoirs qui s'exercent dessus, identifier les ayants droits actuels, anticiper les impacts fonciers

2 On appelle groupe stratégique un ensemble de personnes partageant la même position par rapport à une question ou un enjeu. La notion de groupe stratégique est empirique. Des critères de statut social, d'âge, de niveau économique, de rapports de clientèle ou d'affiliations politiques interviennent dans la composition des groupes stratégiques. La configuration des groupes doit être analysée empiriquement dans chaque situation.

prévisibles. Il sera d'autant plus «rapide» et ciblé que l'on disposera d'une connaissance préalable du contexte foncier local.

Ainsi, pour un aménagement de bas-fond, un diagnostic pré-aménagement signifie :

- > comprendre la position de l'espace concerné dans les trames territoriales, et identifier les pouvoirs qui s'exercent dessus ;
- > identifier les différents usages et usagers de l'espace à aménager ;
- > cerner le profil du groupe demandeur et la position des leaders ;
- > identifier les règles d'accès au bas-fond et le parcellaire.

Il n'est pas toujours indispensable de procéder à un levé parcellaire pré-aménagement systématique. Mais comprendre les règles d'accès aux bas-fonds est indispensable pour pouvoir discuter les règles post-aménagement.

Trames foncières et repérage des usagers se représentent aisément sur un schéma du bas-fond. Superposés avec la carte topographique et la localisation prévue de l'ouvrage, ces schémas permettent de lire aisément les enjeux fonciers de l'aménagement pour les différents types d'acteurs.

Cerner le profil du demandeur et la position des leaders

Il s'agit là de comprendre quels sont les individus et les groupes d'acteurs qui ont les mêmes intérêts par rapport au projet et de pressentir ce que chacun peut y gagner ou y perdre. On s'intéresse particulièrement à ceux qui risquent d'être lésés, à ceux qui portent le projet, à la position des divers pouvoirs locaux.

Ce repérage est indispensable pour comprendre la composition sociale et foncière du groupe demandeur, et ses motivations : regroupe-t-il des paysans ayant des parcelles dans l'espace à aménager et cherchant à les améliorer ? Des gens exclus des bas-fonds espérant gagner un accès à travers l'aménagement ? S'agit-il de paysans «mobilisés» par un leader qui cherche un atout personnel ? Identifier les groupes stratégiques est indispensable pour comprendre les attitudes des uns et des autres lors des discussions et négociations, éviter d'être instrumentalisé et être capable d'anticiper sur des blocages ou tensions possibles, si certains éléments ne sont pas pris en compte.

● **Clarifier le statut foncier de l'aménagement et ses règles de gestion**

Cette clarification doit être partie intégrante du processus de préparation du projet, en discussion avec les populations, et un préalable au lancement des travaux. Cela signifie :

- > préciser qui seront les ayants droit : les ayants droit actuels ? d'autres ? tout le monde ? sous quelles conditions ?
- > anticiper les effets négatifs pour certains acteurs et négocier les modalités de réinstallation ou de dédommagement ;
- > négocier les règles d'accès et d'exploitation après aménagement ;
- > préciser les modalités de prise de décision sur la gestion de l'ouvrage et sur les conflits éventuels ;
- > préciser le statut juridique de l'ouvrage (qui reste souvent dans un flou total) et les prérogatives des instances habilitées à prendre des décisions.

Ces négociations engagent d'abord les futurs usagers, les communautés concernées et les autorités légitimes et compétentes. Les règles ne seront légitimes que dans la mesure où elles auront été négociées, et si elles s'appuient sur des principes et des autorités légitimes aux yeux des ruraux. Ces règles doivent donc être négociées sur la base des systèmes fonciers locaux et des conditions de viabilité de l'aménagement, et non de principes abstraits³. Pour pouvoir être opposables à des tiers, ces règles et les instances de décision correspondantes doivent, autant que possible, être reconnues par l'administration.

Le foncier est une question complexe, dont les enjeux économiques, sociaux et politiques sont importants. La lecture de travaux de recherche sur la région concernée est importante. Des travaux de synthèse récents donnent accès à l'état des connaissances plus générales, et permettent d'approfondir les différentes facettes de la question, qui n'ont pu être qu'abordées ici. Sur le terrain, le recours à des spécialistes est souhaitable dès qu'une compréhension fine apparaît nécessaire.

Bibliographie

- BLANC-PAMARD C., CAMBREZY, L. (Coord), 1995, *Terre, territoire, les tensions foncières*, ORSTOM éd., coll. « Colloques et séminaires », Dynamiques des systèmes agraires.
- CROUSSE B., LE ROY E., MATHIEU P.(dir.), 1991, *L'appropriation de la terre en Afrique noire*. Manuel d'analyse et de gestion foncières, éd. Karthala, Paris.
- CUBRILO M., GOISLARD C., 1998, *Bibliographie et lexique du foncier en Afrique noire*, éd. Karthala, Coopération française, Paris, 415 pages.
- LAVIGNE DELVILLE P. (dir), 1998, *Quelles politiques foncières en Afrique rurale? réconcilier pratiques, légitimité et légalité*. Ministère de la Coopération/Karthala, Paris, 744 pages.
- LAVIGNE DELVILLE P., TOULMIN C. & S. TRAORÉ (dir.), 2000, *Gérer le foncier rural en Afrique de l'Ouest. Dynamiques locales et interventions publiques*, Paris & Saint-Louis, Karthala-URED.
- LE BRIS E., LE ROY E., MATHIEU P., *L'appropriation de la terre en Afrique noire ; manuel d'analyse, de décision et de gestion foncières*, éd. Karthala, 1991, Paris, 359 p.
- LE ROY E., KARSENTY A., BERTRAND A., 1996, *La sécurisation foncière en Afrique. Pour une gestion viable des ressources renouvelables*. Ed. Karthala. Paris, 388 p.

³ Gestion «rationnelle», «équité» théorique.

L'HISTOIRE DES NOTIONS

● *La notion de terroir*

Qu'entend-on par *gestion de terroir* ? Quel est le sens d'une action visant à mieux « gérer » les « terroirs » ? Un éclairage sur le concept de terroir s'impose pour mieux comprendre l'origine et l'orientation des démarches dites de « gestion de terroirs ».

La définition de la notion de gestion est habituellement établie : un ensemble d'outils et de savoirs techniques mis en œuvre par un individu ou un groupe ayant une capacité de décision. En revanche, la définition du terroir est toujours sujette à débats. Certains auteurs préféreraient la bannir pour ne parler que de finage¹. L'usage des mots faisant loi, il convient de préciser le sens du terroir. La « gestion des finages » reste à inventer.

Le terroir peut être décrit comme un espace aux traits singuliers, fait d'une juxtaposition de « parcelles homogènes, caractérisées par une même structure et une même dynamique écologique, ainsi que par un même aménagement agricole »². Cette définition paysagère du terroir, véhiculée par les agronomes, correspond à l'image de l'aménagement par l'homme d'une facette écologique spécifique pour une production donnée. C'est en ce sens que l'on parlera de « produits du terroir », le terroir étant devenu une valeur positive, garante de qualité et d'authenticité. Cette conception amène des agriculteurs européens à délimiter les contours de leurs « terroirs » afin de distinguer, selon des normes strictes, un espace rural précis et une production si caractéristique qu'elle fera l'objet d'une plus-value.

Dans les années soixante, des géographes tropicalistes ont défini le terroir comme « la portion de territoire appropriée, aménagée et utilisée par le groupe qui y réside et qui en tire ses moyens d'existence »³. Le terroir est considéré, non pas comme une étendue neutre, mais comme le résultat d'une construction humaine, un agencement de l'espace susceptible d'évolutions. Cette définition du terroir accorde également une attention particulière à l'appropriation de l'espace par une communauté humaine. Il s'agit d'une portion de territoire, c'est-à-dire un espace régi par un pouvoir, sur lequel un ou plusieurs

1 « Certains géographes spécialistes des espaces tropicaux, surtout en Afrique, emploient terroir au sens de finage ; cet usage, quoique établi, est source de confusion et devrait être évité ». BRUNET (R.), FERRAS (R.), THERY (H.), 1993. *Les mots de la géographie – dictionnaire critique*. Reclus – La Documentation française. p. 482.

2 DUBY, (G.) cité par RABOT (C.), 1990. *Transferts de fertilité et gestion de terroirs. Quelques points de vue...* - Les Cahiers de la Recherche-Développement n°25, mars 1990 : 19-32.

3 SAUTTER (G.), PELISSIER (P.), 1964. *Pour un atlas des terroirs africains. Structure-type d'une étude de terroir*. L'Homme, tome IV, n°1 : 56-72.

groupes d'acteurs développent des activités, disposent de droits et respectent des règles. Cette conception invite à mettre en relief les relations entre les hommes et l'espace pour comprendre leurs modes d'accès au sol et aux ressources.

La définition des géographes africanistes propose un modèle empirique. Le texte fondateur de Gilles Sautter et Paul Péliissier insiste sur les nécessaires ajustements de la notion de terroir : les discontinuités entre terroirs sont difficilement repérables ; le terroir est parfois discordant avec l'habitat. Le long des fronts pionniers ou autour des périmètres irrigués, le terroir devient flou. Conscients de la relative rareté du schéma classique du terroir à auréoles concentriques autour d'un village, les auteurs ont immédiatement associé différents qualificatifs aux terroirs («*emboîtés*», «*dissociés*», ...) pour décrire des situations agraires extrêmement variables.

Le terroir des agronomes et le terroir des géographes sont deux notions parfois mises en opposition. Elles ne semblent pourtant pas si éloignées. Les deux conceptions s'attachent à une description qui tient compte essentiellement de l'activité humaine et de son impact sur le paysage et l'organisation de l'espace. Evoquer un terroir, c'est reconnaître le rôle primordial de l'homme et la rationalité de l'organisation de l'espace, c'est appréhender le milieu physique comme le support des activités productives de l'homme, c'est comprendre comment la *Nature* est façonnée par l'homme. Une approche par le terroir permet d'emblée un positionnement différent des approches qui perçoivent la biodiversité comme un capital écologique progressivement dégradé par l'homme.

Le terroir ne correspond pas aux seuls espaces cultivés. La définition géographique du terroir se rapproche du finage : la portion d'espace dont un village tire l'essentiel de ses ressources. Pourtant, dans un premier temps, la mise en œuvre pratique de projets de gestion de terroirs par des techniciens a limité le terroir à un support de l'agriculture.

Un regard sur les sociétés rurales restreint à la portion cultivée du terroir ne tiendrait compte ni des activités rurales non agricoles, ni des espaces interstitiels. La fameuse «*zone sylvo-pastorale*», la «*brousse*» des paysans d'Afrique francophone, serait oubliée. Elle est pourtant au centre d'enjeux majeurs dans le contexte actuel de transition foncière. Cette limite sémantique du terroir cadre difficilement avec la démarche opérationnelle de «*gestion des terroirs*» s'il n'est compris que dans son acception agricole. Cette dérive strictement agricole des premières interventions sur le terroir a eu de graves conséquences en matière d'intégration des problématiques pastorales : la gestion des terroirs a été parfois utilisée par les agriculteurs comme outil d'exclusion des éleveurs.

Par accumulation d'expériences, les projets de gestion de terroirs et les réflexions qui les ont accompagnés ont fait évoluer par la suite le concept de terroir. À l'usage, chercheurs et «*développeurs*» ont élargi le sens du terroir. Le terroir devient dans le langage du développement, un espace approprié et aménagé par une communauté, qui contient l'ensemble des ressources naturelles (foncier agricole, pâturages, forêts, réserves foncières...) nécessaires à leur subsistance.

Le terroir glisse vers le finage compte tenu de la conquête agricole des espaces ruraux tropicaux et d'une relation à la terre tendant vers l'individualisation et la délimitation. Ces terroirs «*finis*» se superposent et se partagent avec d'autres groupes humains. Les modes d'accès aux ressources et les conflits entre différentes communautés pour leur contrôle sont devenus des objets de recherche et d'intervention.

● La notion de gestion de terroirs

Le concept de «gestion de terroirs» apparaît vers 1983-1984. Il est né d'une convergence apparue à la fin des années soixante-dix : accélération démographique, contre-coup des sécheresses répétées en Afrique sub-saharienne et courants d'idées qui prônent, entre autres, la reconnaissance des échelons locaux. Des projets pionniers commencent à concevoir des programmes de *gestion de terroirs* en Afrique de l'Ouest.

Aucune «méthode-type» n'aurait la prétention de la définir de manière universelle. Ce n'est d'ailleurs pas souhaitable en raison de la grande diversité des demandes, des enjeux, des contextes humains et physiques. Néanmoins, cette démarche obéit à des principes communs :

- > *la gestion de terroir est une stratégie de développement sur un espace limité, censée mobiliser des techniques et favoriser des décisions en vue d'une exploitation durable des ressources naturelles. La gestion des ressources naturelles se définit comme un «ensemble de décisions qui sont prises pour exploiter les ressources naturelles, en réglementer l'accès, les modes de prélèvement et de mise en valeur. Ces décisions sont prises individuellement ou collectivement par ceux qui vivent sur cet espace, qui y ont accès ou qui ont un droit d'usage» ;*
- > *la gestion de terroir fait référence à une intervention locale. La plupart des opérations cherchent à délimiter un cadre spatial dont la petite taille permet une intervention de la communauté paysanne, plus ou moins soutenue par une structure d'appui. Des consensus peuvent s'établir, notamment à propos des usages de cette portion de territoire. L'échelle d'intervention est délibérément restreinte de façon à rester «gérable» par une communauté rurale. Elle correspond à des espaces bien identifiés par leurs usagers, à la différence de notions technocratiques, indifférentes aux producteurs : bassin-versant, unités morfo-pédologiques... ;*
- > *les usagers du terroir, c'est-à-dire les individus ayant des droits d'usage sur cet espace, sont considérés comme les maîtres d'œuvre des interventions immédiatement ou à terme. Ils sont amenés à réfléchir pour anticiper l'avenir de leur espace, à se prononcer sur le contenu et l'intérêt des interventions, à financer partiellement les aménagements et certains coûts des opérations. L'exercice de leurs responsabilités passe au préalable par une reconnaissance de leurs droits sur le sol et les ressources, condition impérative à une prise en charge du développement et du renouvellement des ressources.*

Le concept de gestion des terroirs est apparu suite à un ensemble de constats et de circonstances.

● Une remise en cause des fondements du développement tel qu'il était conçu dans les années soixante et soixante-dix

La gestion des terroirs émerge des bilans des précédentes expériences de développement rural, dont les limites et les échecs ont été mis en évidence. Ni la réglementation étatique de l'utilisation des ressources, ni la «sensibilisation» des paysans, ni l'incitation à des pratiques conservatrices, ni les grands aménagements, ni les projets de protection de l'environnement n'ont vraiment réussi à juguler la crise écologique et économique des terroirs africains. La gestion de terroirs s'inscrit en rupture avec le technocratisme des années soixante et soixante dix. Elle se fonde dans un courant de pensée humaniste qui souhaite la reconnaissance et la promotion du paysan africain.

● **La prise en compte de nouvelles problématiques du développement rural**

Jusque dans les années soixante, dans de nombreuses régions, les pratiques extensives des agricultures africaines correspondaient à des occupations de l'espace caractérisées par de faibles densités humaines et correspondant à une valorisation optimale de la productivité du travail. En raison du boom démographique de la deuxième moitié du xx^e siècle, ces systèmes agricoles sont devenus prédateurs pour le milieu et sont aujourd'hui ressentis comme l'une des expressions de la paupérisation et de l'affaiblissement des règles sociales. Depuis une quinzaine d'années, décideurs et praticiens du développement sont sensibles à la saturation des espaces et des ressources. Les notions d'*espace fini* et de *prélèvement dans le capital écologique* ont eu un certain succès. L'épuisement des ressources naturelles face à une démographie en croissance exponentielle entre pleinement dans leurs préoccupations.

● **Les mesures d'ajustement structurel et le désengagement des pouvoirs publics créent un nouveau contexte dans le monde rural tropical**

Pour pallier les «vides» provoqués par le retrait de l'Etat, la gestion des terroirs propose une alternative susceptible de conférer à la société civile un rôle moteur et de transférer certaines fonctions de l'administration vers les producteurs ruraux, regroupés en organisations formées et consolidées. La participation populaire est supposée s'affirmer face aux dérives technocratiques qui ont marqué l'histoire du développement rural. En ce sens, la gestion des terroirs annonce des interventions de «développement local» ou d'appui aux organisations paysannes. Elle suppose une redéfinition des services de l'Etat ce qui implique un recyclage des compétences et l'adoption de réformes institutionnelles.

● **La gestion de l'espace rural répond à une nécessité de décentralisation**

- > une gestion centralisée de l'espace serait trop coûteuse pour des Etats aux capacités financières réduites et s'est révélée non opératoire dans bien des cas (forêts domaniales...);
- > l'Etat manque souvent d'informations au niveau central, pour pouvoir gérer effectivement les ressources comprises dans l'ensemble de son territoire ;
- > la gestion du terroir revient légitimement aux producteurs : ce sont eux qui ont façonné le terroir et qui le font évoluer par leurs pratiques et leurs décisions. Leur connaissance de l'espace, leur savoir-faire et les règles qu'ils ont progressivement établies les placent au premier plan de la gestion des espaces ruraux.

UN CANEVAS MÉTHODOLOGIQUE

Il n'existe pas de méthode de gestion de terroirs standardisée et universelle. La diversité des situations agraires, la sensibilité des opérateurs de développement et les points d'attache institutionnelle des projets de «gestion de terroirs» produisent différents parcours méthodologiques. Certains principes communs amènent néanmoins les interventions à suivre des lignes directrices. Outre une première phase d'information des partenaires et des services administratifs, le schéma d'une approche «gestion de terroirs» peut se présenter en quatre phases, présentées brièvement ci-dessous.

● La phase de connaissance de l'espace et de la société⁴

Une approche «gestion de terroir» ne peut faire l'économie d'une observation préalable de l'espace et des sociétés rurales, en tenant compte de deux échelles : la région et le terroir.

La conception de la stratégie d'intervention au niveau du terroir s'effectue au regard des tendances qui animent l'espace régional. Un zonage doit permettre de représenter les caractéristiques climatiques, morpho-pédologiques, sociales et économiques des systèmes agraires dans lesquelles le ou les terroirs d'intervention s'insèrent. En repérant les zones où le renouvellement des ressources naturelles semble compromis, il fournit des éléments qui conduisent à planifier des priorités et qui serviront de base à une éventuelle politique d'aménagement du territoire. Enfin, le zonage de l'espace régional va identifier des dynamiques spatiales et des espaces homogènes, au sein desquels des «terroirs-tests» seront choisis.

Les photographies aériennes et les images satellite interprétées à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) comptent parmi les outils nécessaires à ce travail de cartographie de synthèse. Le zonage se complète à dire d'acteurs, c'est-à-dire par des discussions auprès d'un échantillon raisonné de producteurs ruraux et d'hommes de pouvoir, afin de prendre en considération les perceptions de l'espace propres à chaque communauté d'usagers.

En préparation aux actions, la plupart des projets de «gestion de terroir» réalise, à l'échelle du terroir ou d'une grappe de villages, un « diagnostic croisé » qui associe une expertise externe à une réflexion des villageois sur les situations actuelle et future des espaces et des ressources qu'ils exploitent.

Le diagnostic externe est réalisé par des équipes d'intervenants, souvent pluridisciplinaires, comprenant des techniciens ou des chercheurs, voire des agents du projet. L'objectif n'est pas de produire de la connaissance brute, mais de parvenir à une description de faits physiques et sociaux qui déterminent les comportements et les stratégies des acteurs locaux. Leur compréhension éclaire les raisonnements des producteurs et les facteurs de blocage à l'intensification et à l'investissement.

Ces études portent habituellement sur un inventaire des ressources naturelles, sur une analyse historique de l'occupation de l'espace et sur une typologie des exploitations et de leurs stratégies. Une analyse des modes de régulation de l'accès aux ressources peut les compléter utilement. Ces études s'accompagnent de cartes de terroir qui représentent la trame foncière, les infrastructures rurales, la répartition des cultures, le parc arboré et diverses informations dont l'importance varie en fonction des situations. Elles sont parfois remplacées par de simples croquis ou transects, plus simples et moins onéreux, mais d'un intérêt très limité. La carte de terroir est un outil qui permet de saisir un terroir à un instant donné et de disposer de données quantifiées, datées et localisées. Périodiquement mise à jour, elle devient encore plus expressive et supporte des analyses dynamiques qui confirment ou non les premières impressions sur la dégradation des ressources, la saturation foncière, les réponses paysannes à ces évolutions...

⁴ Cf. chapitres 11 et 12.

Les équipes qui réalisent ces études s'attachent à une restitution de leurs observations auprès des populations enquêtées. À cette occasion, les villageois présentent leur perception des problèmes identifiés par l'équipe externe. Un diagnostic participatif s'ajoute à l'étude externe et ses restitutions. Différentes méthodes ont été employées, la plus connue d'entre elle étant probablement la méthode active de recherche participative, la MARP⁵. Ces premiers échanges préparent la programmation des interventions.

● **La phase de programmation**

Les démarches «gestion de terroirs» cherchent à impliquer les acteurs locaux dans la conception des interventions de développement en combinant les idées apportées par les projets et les problèmes exprimés localement. L'enjeu est de parvenir à une appropriation des activités de développement par la communauté villageoise, en l'espoir d'une pérennisation des actions engagées et d'une maintenance des futurs aménagements.

Deux étapes se distinguent habituellement :

- > *une phase d'auto-analyse, avec un appui méthodologique et technique* : dialogue avec les acteurs locaux sur les problèmes rencontrés par le village, sur les causes perçues localement, sur les solutions déjà entreprises par les paysans et sur les actions qu'ils souhaitent entreprendre avec l'appui du projet ;
- > *une phase de programmation concertée* : proposition d'un «menu» d'interventions aux différents groupes d'acteurs, enregistrement de leurs réactions et de leurs décisions de réaliser, de modifier ou de refuser les propositions d'intervention, planification dans le temps et dans l'espace des actions retenues, réflexions sur le montage financier des futurs investissements, appui à la constitution de dossiers pour l'obtention de financements complémentaires.

Cette programmation consensuelle dans le temps et dans l'espace aboutit à la réalisation d'un plan de développement qui hiérarchise les priorités d'intervention et les besoins en financement. Il permet par ailleurs un schéma d'aménagement, c'est-à-dire une carte réalisée avec des représentants de différents groupes d'acteurs, où figure la localisation des usages et des interventions. Ce schéma peut anticiper sur l'avenir et proposer des aménagements en fonction d'une vision évolutive des espaces d'intervention.

Ce travail de programmation s'accompagne généralement de la création d'une instance villageoise, représentative des groupes d'utilisateurs du terroir et dont les fonctions varient d'une intervention à l'autre :

- > cellule de définition de limites foncières et d'arbitrage des litiges ;
- > comité ayant un pouvoir de décision sur les choix de développement et d'investissement ;
- > point de collecte des fonds servant de contreparties locales ;
- > interface avec l'administration et les organismes extérieurs.

⁵ Méthode active de recherche participative. Cette méthode permet de provoquer un débat entre agents de développement et communautés rurales et de comprendre la représentation que les producteurs se font de leurs espaces et des problèmes qu'ils vivent. Dans des sociétés rurales très structurées, les résultats obtenus par cette méthode sont douteux dans la mesure où tous les problèmes ne peuvent être abordés et débattus publiquement.

Tableau 1. Exemple de programmation concertée. Terroirs de la vallée du Gudur-Mandaya, piémont des Monts Mandara, extrême nord du Cameroun

Problèmes hiérarchisés par le village	Solutions proposées par DPGT	Réactions des paysans	Priorités pour le village	Contributions locales	Partenaires	Période de réalisation
Manque d'eau pour les hommes et le bétail	Construction de seuils sur un modèle déjà diffusé dans la région Organisation d'une collecte pour le creusement de nouveaux puits Formation des villageois à la construction de seuils	Favorable	Creusement de nouveaux puits	Participation humaine Cotisations individuelles	Projet DPGT Groupements coton Projet Union Européenne	Mars 1997
Problème de santé humaine	DPGT n'intervient pas dans ce domaine. Pas de solutions.	Déception				
Manque d'infrastructures routières	Construction de quelques radiers, au franchissement des cours d'eau les moins praticables	Favorable		Participation humaine Cotisations individuelles jusqu'à 30 % des coûts totaux	Projet DPGT Groupements coton Comité de Développement « Frères » émigrés à Yaounde Commune Rurale	Mars 1997
Insuffisance de céréales	Amélioration de la fertilité du sol par densification du parc à <i>Faidherbia</i> et par établissement de cordons pierreux Création de greniers communs avec les groupements de producteurs de coton	Favorable	Stockage du mil rouge Baisse du prix des engrais Cordons pierreux	Financement par les groupements de producteurs	Projet DPGT Groupements coton	Régénération du <i>Faidherbia</i> à partir de février 1997

Tableau 2. Exemple d'autoanalyse : terroirs de la vallée du Gudur-Mandaya, piémont des Monts Mandara, extrême-nord du Cameroun

Problèmes exprimés par les paysans classés par priorité	Causes perçues par les paysans	Solutions déjà envisagées	Demande paysannes pour des actions à entreprendre avec le projet
Manque d'eau pour la consommation humaine et pour le bétail	Affleurement rocheux à faible profondeur Erosion « due à la culture attelée » Assèchement des cours d'eau par les <i>ipomea</i> .	Creusement de fosses dans les bas-fonds Creusement de 3 puits à ciel ouvert avec l'appui d'un projet	Organisation d'une collecte pour creuser de nouveaux puits Construction de seuils
Problème de santé humaine	Enclavement du village	Construction d'une case de santé Demande, restée sans suite, d'un dispensaire auprès de la mission Baptiste et de la sous-préfecture.	Création d'un centre de santé
Manque d'infrastructures routières	Enclavement du village Absence d'un marché important dans la région Absence d'unité administrative	Organisation d'une cotisation il y a 5 ans. Cette cotisation, organisée avec l'appui de deux ONG, a permis de réunir une somme de 399 000 CFA. La somme collectée est insuffisante et reste pour le moment chez le président du comité de développement du canton de Mokong.	Relance des cotisations en vue de créer une route praticable en toutes saisons. Sur cet axe, les paysans envisagent de construire de petits radiers. Tous les villages concernés par cette route doivent y participer.
Insuffisance de céréales	Explosion démographique Insuffisance de terres cultivables Problème de dégradation des sols	Demande de location de terres dans les villages autour de Mandaya	Amélioration de la fertilité du sol Aide pour l'approvisionnement en céréales en période soudure.

● La phase de réalisation

En fonction du plan de développement et dans le respect du schéma d'aménagement, des réunions entre le projet, les utilisateurs du terroir et certains services administratifs définissent les engagements respectifs de chaque partie et les formalisent par contrats ou conventions. Les subventions et incitations versées par les projets doivent être progressives et proportionnelles aux réalisations prises en charge par les acteurs locaux.

Afin de s'assurer de l'intérêt réellement éprouvé pour les aménagements et les actions programmés, la plupart des projets de « gestion de terroir » exigent une contrepartie locale sous forme de travail, de matériaux ou de cofinancement. Ces apports permettent également une programmation sélective des actions du projet en fonction de la disponibilité réelle des contributions.

Les domaines d'intervention des opérations de «gestion de terroir» recouvrent la plupart des thèmes classiques du développement rural :

- > *la défense et la restauration des sols* par des mises en défens et des traitements anti-érosifs, des opérations de gestion de parcours ;
- > *l'intégration de l'arbre dans les systèmes de production* : pépinières villageoises ou privées, incitations au reboisement, développement de la production fruitière, régénération des parcs arborés ;
- > *l'intensification des pratiques culturales* : intégration agriculture-élevage, promotion de la fumure organique, diffusion d'innovations dans les itinéraires techniques afin d'atténuer la pression sur les ressources renouvelables ;
- > *la sécurité alimentaire* : banque de céréales, organisation de la commercialisation ;
- > *la sécurisation foncière et la régulation de l'accès aux ressources* : délimitations foncières, médiation et appui aux arbitrages, préservation d'aires pastorales, modalités de prélèvement des ressources forestières et cynégétiques.

Cette phase d'exécution conduit à l'établissement de relations contractuelles avec d'autres services. En effet, la conception et la mise en œuvre des opérations de «gestion de terroirs» sont confiées à des généralistes qui ne disposent pas toujours des compétences nécessaires à la bonne réalisation des ouvrages (puits, forages, radiers, mares, magasins de stockage) ou à la création de nouvelles structures : caisses d'épargne-crédit, etc.

Dans la pratique, ces phases ne se déroulent pas toujours de façon linéaire, en raison de contraintes de fonctionnement, d'une application partielle de cette trame méthodologique et de fréquents retours, salutaires, vers la phase de diagnostic.

● **La phase de suivi-évaluation**

Le suivi des actions s'effectue de manière permanente avec les villages concernés et de manière ponctuelle à l'occasion d'évaluations par les partenaires du projet.

Ces évaluations ont pour objectifs d'entendre les réactions des usagers du terroir sur des actions en cours et de rapporter les impacts sociaux et économiques aux coûts d'intervention, en vue de leur poursuite, d'une nouvelle formulation ou d'un abandon pur et simple.

LES ACQUIS, LES LIMITES, LES PERSPECTIVES

Quels que soient les principes suivis, le discours du «développeur» est condamné à la modestie. Les projets de «gestion de terroirs» ont cru pouvoir contribuer à la préservation du patrimoine productif et à l'accalmie des compétitions foncières par des méthodes qui associent davantage le paysan au développement. Ils ont suivi en cela les grands projets des années 1960-70 qui pensaient participer à l'auto-suffisance alimentaire du monde tropical par une série d'investissements lourds.

L'impact de la génération des projets de «gestion de terroirs» reste à évaluer de manière globale. Ces opérations de développement comptent néanmoins à leur actif des acquis importants :

- > la connaissance des milieux et des sociétés paysannes est désormais devenue un préalable indispensable à toute opération de développement, tandis que la reconnaissance des savoir-faire paysans et des modes d'accès aux ressources apparaît de plus en plus comme une évidence ;
- > ces projets ont contribué à la formation d'agents de développement susceptibles de mettre en œuvre des méthodes moins dirigistes et d'influencer les institutions de leur pays ;
- > l'influence de la «gestion de terroirs» se ressent dans les politiques agricoles de certains pays, où les législateurs nationaux se sont inspirés de ces expériences afin de réformer tout ou partie de leurs politiques de développement rural. Le Burkina Faso a même adopté un Plan national de gestion des terroirs villageois.

● **Les limites de la gestion de terroirs**

Dans la pratique, l'approche «gestion de terroirs» a révélé ses propres limites et s'est heurtée à de nombreux points de blocage :

● **Une stratégie ambitieuse**

Les opérations de «gestion de terroirs» ont tenté, consciemment ou non, de réinventer l'État à des échelons locaux : ils ont institué des comités villageois ayant une capacité à collecter des fonds, à modifier l'agencement des espaces ruraux, à arbitrer des conflits, à investir dans des infrastructures rurales. Cette intervention peut apparaître légitime car elle agit en compensation au retrait des services publics dans les campagnes. Elle a néanmoins provoqué des conséquences plus ou moins attendues :

L'attribution de pouvoirs aux échelons locaux s'effectue sans dispositif législatif et sans référence à une politique régionale ou nationale de développement local.

Les instances centrales éprouvent des difficultés à reconnaître la sclérose des administrations techniques et s'inscrivent parfois à contre-courant d'une responsabilisation des producteurs. Elles peuvent se révéler en contradiction avec l'émergence d'initiatives pour une prise en charge locale du développement.

Le transfert de pouvoirs au bénéfice des communautés locales s'effectue sans transfert financier en contrepartie.

Les paysans deviennent responsables d'espaces et d'infrastructures sans pour autant disposer des ressources financières qui en permettraient la gestion. La mise en œuvre de cotisations et de diverses collectes n'est qu'une alternative par défaut, car elle se cumule aux fiscalités officielles.

La responsabilisation des producteurs ruraux revient, de fait, à un transfert de pouvoirs, extrêmement complexe, des autorités coutumières et de l'administration vers la «société civile».

Aussi, dans les pays où le poids politique des chefferies reste fort, les autorités coutumières peuvent se sentir concurrencées et refuser cette approche.

Au Nord-Cameroun, la création d'une instance villageoise de gestion de l'espace est considérée comme une atteinte à la principale prérogative du pouvoir coutumier.

● **La difficile appréhension des questions foncières**

Au démarrage des premiers programmes de «gestion de terroirs», l'insécurité foncière était perçue uniquement sous l'angle d'une entrave au développement rural : aucun producteur ne pouvait investir tant qu'il n'avait pas l'assurance de droits sur sa terre. La réalité s'est révélée plus complexe. Ce n'est que dans la deuxième moitié des années 90 que la réflexion sur la sécurisation des droits sur le sol s'est affinée. Ce courant d'idées a recommandé des interventions plus adaptées que le recours systématique à l'immatriculation foncière (cf. chapitre 231). L'expérience des projets de «gestion de terroirs» n'est d'ailleurs pas étrangère à cette évolution de la pensée sur l'appropriation et l'usage du sol.

Ainsi, de nombreux projets ne disposaient d'aucun référentiel méthodologique pour tester des modalités de sécurisation foncière qui intègrent, sur la base d'une bonne connaissance des systèmes fonciers, les pouvoirs coutumiers. Les plans d'aménagement caricaturaux qui ont tracé des lignes de démarcation entre zones agricoles et zones sylvo-pastorales ou des espaces mis en défens arbitrairement représentent l'une des impasses rencontrées par les premiers projets de «gestion de terroirs».

● **Les dérives environnementales et méthodologiques**

Les approches «gestion de terroirs» axées exclusivement sur des préoccupations environnementales sont rapidement apparues en décalage avec les besoins à court terme des producteurs. Mal comprises, elles ont pu servir d'alibis à la mise en œuvre de programmes de protection d'espaces ou à la reconduction de thèmes techniques déconnectés des attentes paysannes, sous couvert d'un travail de diagnostic et de programmation participatifs.

Certaines opérations ont cru pouvoir s'appuyer sur la «gestion de terroirs» pour «faire passer» des innovations techniques qui n'enthousiasmaient pas les producteurs. Un arsenal méthodologique fait d'échanges et de consensus a été utilisé. Mais la question essentielle de la rentabilité du thème technique pour le producteur n'a jamais été posée et débattue.

Enfin, la complexité méthodologique des démarches «gestion de terroirs» a parfois sacrifié l'action au profit de la méthode. Les efforts et les investissements déployés pour concevoir et appliquer cette approche, puis pour former des équipes, sont souvent disproportionnés au vu des résultats obtenus. Dans bien des cas, cette complexité dépasse les capacités de diffusion des structures supposées reproduire cette méthode à de plus vastes échelles.

Les objectifs à long terme de préservation du potentiel productif et la durée de la mise en œuvre des approches «gestion de terroirs» découragent les producteurs ruraux.

● **Une insertion institutionnelle délicate**

Les opérations de «gestion de terroirs», par nature polyvalentes et multi-sectorielles, s'insèrent difficilement au sein d'institutions administratives organisées par thème (agriculture, élevage, eaux et forêts, énergie, hydraulique, etc.). L'ancrage d'un projet

de «gestion de terroirs» dans l'une de ces tutelles peut limiter ses domaines d'intervention ou provoquer des conflits venant d'autres corps ministériels.

● **Une action au long cours**

Les opérations ne sont financées que sur des périodes relativement courtes. Les projets sous pression tentent d'accélérer l'obtention de résultats par des incitations abusives alors que les processus de responsabilisation et de diffusion d'innovations s'opèrent sur des périodes relativement longues.

● **Les perspectives**

● **Terroir et territoire**

Les projets de «gestion de terroirs» se transforment progressivement en projets de développement local et de «gestion du territoire». Cette évolution répond à plusieurs constats :

● **Le manque de légitimité des comités villageois**

L'échec relatif des comités villageois tient en grande partie à leur absence de légitimité. Ils ne sont reconnus ni par l'autorité coutumière, ni par l'administration. Pourtant, les thèmes de la «gestion de terroirs» abordent essentiellement des questions de pouvoir : médiations foncières, conflits agriculteurs/éleveurs, régulation de l'accès aux ressources, etc. L'appui au règlement des conflits pour le contrôle des ressources passe par une action auprès des pouvoirs locaux. L'agent de développement doit nécessairement faire correspondre son échelle d'intervention à l'échelle de vrais territoires⁶, afin de fournir des outils et des informations aux instances de décision et de favoriser des arbitrages qui s'inscrivent dans le sens d'un apaisement des conflits et du renouvellement des ressources.

● **La prise en charge de la maintenance**

L'entretien d'aménagements et d'ouvrages nécessite une organisation pérenne de la participation des usagers aux coûts de fonctionnement. Les collectivités territoriales qui, au contraire des comités villageois, disposent de revenus publics, apparaissent comme un relais, encore fragile mais opportun, pour la prise en charge de la maintenance ou de son organisation.

● **Les limites d'une approche centrée sur le terroir**

Certaines demandes paysannes dépassent l'échelle villageoise (pistes rurales, raders...), mais peuvent être parfaitement justifiées et riches de retombées économiques pour les usagers du terroir. Une approche exclusivement centrée sur le terroir ne parvient ni à les prendre en compte, ni à les intégrer dans un schéma cohérent d'organisation régionale de l'espace.

6 Le territoire est compris ici comme l'espace d'un pouvoir : le fief du seigneur, la commune du maire, le diocèse de l'évêque, la province du gouverneur, l'arrondissement du sous-préfet, le sultanat, la circonscription du député...

● **Une réponse rapide aux demandes d'appui**

À l'échelle du territoire, il n'est plus question d'étudier finement les caractéristiques physiques et sociales des terroirs ou de déterminer leurs limites avec précision⁷. L'intervention porte immédiatement sur des demandes d'appui ou d'investissement présentées par les villages, examinées par des commissions paritaires et qui font l'objet d'études de faisabilité simplifiées.

Ainsi, les expériences de «gestion de terroirs», elles-mêmes inspirées de la recherche-développement, génèrent à leur tour la formulation de nouveaux axes d'interventions. Deux tendances s'observent.

Le rôle des collectivités décentralisées

Certaines approches opèrent à l'échelle de petits territoires et tentent d'intégrer des acteurs apparus récemment sur le terrain du développement, les collectivités décentralisées. Il s'agit d'opérations de développement local et d'appui aux instances territoriales locales qui accompagnent la mise en œuvre pratique de la décentralisation. Les projets de développement local cherchent à renforcer les capacités des populations rurales à concevoir leur propre développement.

Selon les contextes, ils peuvent privilégier la mise en place d'instances inter-villageoises, susceptibles de définir des priorités d'investissement dans le cadre d'un plan de développement local, de gérer des crédits ou des subventions pour financer des projets de petite envergure et de suivre leur exécution. Ils peuvent choisir aussi de renforcer des collectivités démocratiquement élues. Les questions de gestion des infrastructures et de financement des collectivités prennent alors le dessus sur la gestion des ressources renouvelables. Le mandat des communes en matière foncière reste souvent à préciser. Le contexte de décentralisation, qui tend à se généraliser en Afrique sub-saharienne, se prête à ce type d'intervention, même si les déconcentrations de l'Etat progressent à des vitesses variables.

La gestion des ressources renouvelables et du foncier

D'autres démarches s'inscrivent dans le sens de la gestion des ressources renouvelables et du foncier. Ces projets correspondent à un certain «recentrage» d'une partie des projets dits de «conservation» ou de «protection de la biodiversité» vers des formes d'intervention qui tiennent davantage compte des utilisateurs des ressources et des villages établis à proximité des zones à protéger. L'objectif est de parvenir à l'élaboration concertée de règles collectives de gestion des ressources, formalisées par des conventions. D'autres interventions ont expérimenté des démarches spécifiques sur la gestion du foncier : des plans fonciers ruraux définissent des cadastres ruraux afin de faciliter l'enregistrement des droits fonciers.

Les projets de développement local et de gestion des ressources se heurtent à une difficile adéquation entre des projets ou des réglementations ayant une légitimité locale et des dispositifs législatifs conçus à l'échelle nationale. Des questions restent posées sur la validité des instances inter-villageoises, sur les cadres de concertation, sur la fiscalité du développement, etc.

⁷ L'étude préalable du territoire d'intervention reste un préalable incontournable.

● Un laboratoire grandeur nature

Ces tendances ne remettent pas en cause l'intérêt expérimental du terroir. Il devient un outil au service d'une intervention ayant une portée plus large. Le terroir aide à la compréhension du fonctionnement des sociétés rurales. Son étude et sa représentation sur carte mettent à disposition de l'agent de développement la photographie d'une situation agraire à une période donnée. Elles permettent des observations objectives, fondées notamment sur des dimensions et des contenus de parcelles mesurés avec une certaine précision, qui serviront à valider ou à remettre en cause des hypothèses sur l'évolution démographique, la saturation foncière, la dégradation des ressources... Cet éclairage du fonctionnement d'un système agraire par l'analyse d'un petit espace est indispensable à la conception et aux réorientations successives des opérations de développement rural.

En termes d'intervention, le terroir doit être considéré comme un «*laboratoire de développement grandeur nature*». Il s'agit d'utiliser ce petit espace pour concevoir des méthodes d'intervention, essayer de nouveaux thèmes techniques, regarder comment réagit le milieu humain, évaluer le comportement des producteurs face aux innovations techniques ou organisationnelles... L'enjeu est de proposer des programmes de recherche et de développement adaptés aux sollicitations du monde rural et susceptibles de s'étendre sur des espaces plus larges. La conception des interventions au sein de quelques terroirs-tests permet de déterminer des coûts unitaires de réalisation et de fonctionnement et d'effectuer une première mesure d'impact des actions, toujours en perspective d'une intervention plus large.

Une intervention concentrant ressources humaines et moyens financiers sur un seul terroir serait dénuée de sens, si l'objet final n'était pas la démultiplication de la méthode et des innovations.

Bibliographie

- HALLAIRE (A.), SAVONNET (G.), 1985. *Le terroir, une formule rigide, ses transformations, ses éclatements. À travers champs – agronomes et géographes.* ORSTOM : 31-56.
- LAVIGNE DELVILLE, P. (dir.), CHAUVEAU, J.P. (collab.), GASTALDI, J. (collab.), KASSER, M. (collab.), LE ROY, E. (collab.), 1998 *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ? Réconcilier pratiques, légitimité et égalité,* Karthala / Coopération française, 744 p.
- LE ROY (E.), KARSENTY (A.), BERTRAND (A.), 1996. *La sécurisation foncière en Afrique ; pour une gestion viable des ressources renouvelables.* Karthala.
- MARTY (A.), 1996. *La gestion des terroirs et les éleveurs : un outil d'exclusion ou de négociation ? in* Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel, Actes du séminaire, 2-3 avril 1996, Montpellier, France, CNEARC : 53-60.
- MERCOIRET (M.-R.), DEMANTE (M.-J.), GILLET (T.), LASSICA (Y.), MERCOIRET (J.), 1994. *Développement rural participatif, durabilité et environnement. Réflexions à partir de quelques cas principalement sahéliens.* FAO, 60 pages + annexes.
- PAINTER Th., SUMBERG J. AND PRICE Th., 1994, « Your terroir and my "action space": implications of differentiation, mobility and diversification for the *approche terroir* in Sahelian West Africa », *Africa*, vol.64 n°4 : 447-464
- PELISSIER (P.), 1999, *Campagnes africaines en devenir.* Editions Arguments, 318 p.
- PELISSIER (P.), 1999. *Transition foncière en Afrique noire. Du temps des terroirs au temps des finages.* Campagnes africaines en devenir. Editions Arguments : 304-317.
- PELISSIER (P.), SAUTTER (G.), 1970. *Bilan et perspectives d'une recherche sur les terroirs africains et malgaches (1962-1969).* Etudes Rurales, n°37-38-39 : 7-45.

L'aménagement des zones cultivées et la lutte contre l'érosion

À partir d'une contribution de P. Dugué (CIRAD)

LES NOTIONS D'AMÉNAGEMENT ET D'AGRICULTURE DURABLE

Les régions tropicales sont caractérisées par une forte agressivité des pluies et une minéralisation rapide de la matière organique du sol liée aux températures élevées. Lorsque les paysans ne peuvent plus pratiquer la jachère de longue durée, ils doivent développer d'autres pratiques d'entretien de la fertilité du sol pour assurer la durabilité de leur exploitation agricole. Parmi ces pratiques figurent :

- > les apports d'éléments nutritifs (engrais minéraux, fumures organiques, amendements) qui permettent de compenser les pertes dues aux exportations des récoltes et des résidus de culture ;
- > les techniques limitant les pertes en sol et en éléments minéraux et organiques dues à l'érosion. Ces techniques se raisonnent à l'échelle de la parcelle (travail du sol, association de cultures), d'un ensemble de parcelles ou d'une portion de bassin versant.

L'aménagement des terres agricoles peut viser d'autres objectifs que la lutte contre l'érosion hydrique. Ainsi l'installation de clôtures et de haies vives permet de contrôler le passage des troupeaux dans les champs. C'est un ensemble de techniques et de dispositifs qui améliorent les conditions de la production agricole et permettent d'exploiter ces terres sur une longue période.

Ce chapitre traitera principalement des aménagements anti-érosifs, car l'érosion hydrique constitue une contrainte majeure de la production agricole en zone tropicale. D'autres types d'aménagement sont présentés dans les chapitres suivants (234, 235, 236).

LES MÉCANISMES ET LES CONSÉQUENCES DE L'ÉROSION

● **Les formes d'érosion**

L'érosion correspond au transport et à l'accumulation des particules de sol arrachées. En zone tropicale, ce transport est dû à différents facteurs :

- > *le ruissellement des eaux pluviales ou fluviales* : il s'agit alors de l'érosion hydrique ;
- > *le vent violent* : il s'agit de l'érosion éolienne ;
- > *l'utilisation d'outils aratoires* : il s'agit de l'érosion mécanique sèche.

● **L'érosion éolienne**

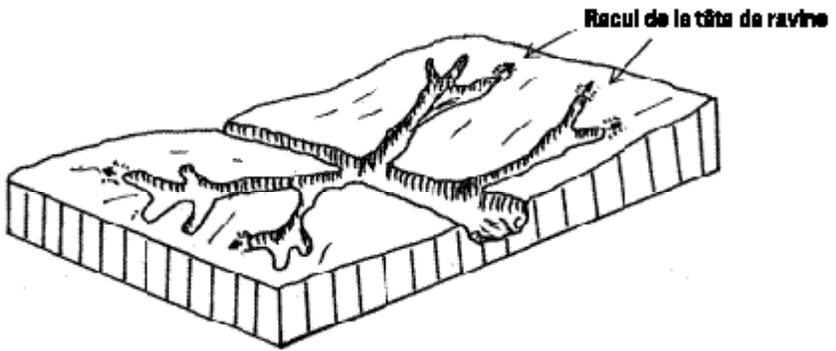
Elle concerne principalement les zones arides et semi-arides (pluviométrie inférieure à 600 mm). Le transport éolien s'effectue selon trois modes :

- > *la reptation des particules de sol les plus lourdes* (les sables grossiers). Les particules roulent sur la surface du sol sur de courtes distances. Ce phénomène concerne de grandes quantités de matériaux qui aboutit à la formation de dunes qui réduisent la production agricole par l'ensablement des bas-fonds et des oasis ;
- > *la saltation* correspond au déplacement par petits sauts sur quelques mètres de particules moins lourdes, comme les sables fins et moyens. Ce phénomène participe aussi à la formation de dunes ;
- > *la suspension* est le mode de transport des particules fines (poussières) sur de grandes distances. Du fait des petites quantités transportées, ce phénomène n'est guère préjudiciable à l'agriculture.

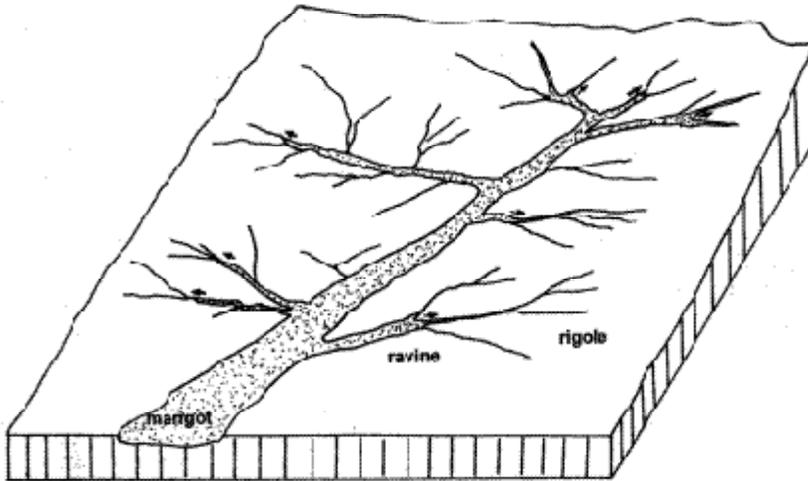
L'érosion éolienne est un phénomène encore mal connu, difficile à maîtriser. La plantation de brise-vent et la fixation des dunes par des graminées et des arbustes résistants à la sécheresse figurent parmi les principales techniques de lutte contre ce type d'érosion.

● **L'érosion hydrique**

L'érosion hydrique dépend de l'intensité du ruissellement des eaux de pluie. Le ruissellement en nappe correspond à une mince lame d'eau qui couvre une grande étendue de sol. En se déplaçant, elle entraîne de fines particules de sol. Le ruissellement peut se concentrer en filets et en ruisseaux du fait du relief. L'érosion correspond alors à un transport de particules plus grosses et plus lourdes. Il se crée alors un réseau de rigoles et de ravines qui s'agrandit à chaque pluie par érosion régressive ou remontante. Aux phases d'arrachement et de transport des matériaux du sol suit une phase d'accumulation lorsque la vitesse du ruissellement diminue. L'accumulation ou le dépôt des particules transportées se localise surtout dans des zones basses. Ce phénomène peut entraîner par exemple l'ensablement des rizières de bas-fond.



Érosion en griffes, en rigoles et en ravines



→ **Érosion régressive**

► Figure 1 : Les ravines ou griffes d'érosion « remontent » dans la pente

● L'érosion mécanique sèche

L'érosion mécanique sèche correspond à l'arrachement et au transport de particules de sol du fait de la gravité et de l'utilisation d'outils aratoires (manuels ou tractés). Ce processus où l'eau n'intervient pas est peu connu, peu étudié et rarement quantifié. Cette forme d'érosion concerne les régions de montagne à forte pente comme en Equateur, au Rwanda ou en Algérie. Dans ces conditions, un labour peut entraîner 10 t/ha de terre et un simple sarclage manuel environ 1 t/ha. L'intensité du déplacement de terre dépend de plusieurs facteurs : le type d'outil (la charrue transporte plus de terre qu'un outil à dents), la fréquence de passage des outils, l'orientation du travail par rapport à la pente, et la pente.

● **Les facteurs favorisant l'érosion**

La vitesse du vent et l'agressivité des pluies constituent des causes de l'érosion sur lesquelles il est difficile d'agir directement. Trois facteurs principaux favorisent l'érosion :

- > *l'état du couvert végétal* est le principal déterminant de l'érosion. La couverture végétale du sol permet de limiter le ruissellement et donc l'érosion hydrique ;
- > *la topographie du terrain* : d'une part la vitesse du ruissellement et donc l'érosion augmentent avec la pente ; d'autre part, plus le terrain est long dans le sens de la pente, plus le ruissellement se concentre ;
- > *l'état de surface du sol*, qui dépend du micro-relief dû aux pratiques culturales (travail du sol, sarclo-buttage), de la texture et de la structure de l'horizon de surface et de sa teneur en matière organique. Un horizon superficiel tassé avec une faible macroporosité ne laisse s'infiltrer qu'une faible quantité d'eau, ce qui favorise le ruissellement.

Cette hiérarchisation, issue d'observations et de mesures dans des parcelles expérimentales, permet de comprendre que l'érosion hydrique ne concerne pas seulement les zones de montagne. Ainsi, avec une pente faible de 1 % à 2 %, des pertes en terre de 14 à 20 t/ha/an sur sol nu, et de 4 à 6 t/ha/an dans une parcelle cultivée traditionnellement, ont été observées en Afrique soudano-sahélienne. Ces pertes sont inférieures à 1 t/ha/an dans une jachère herbacée. Un sol nu est particulièrement sensible à l'érosion. Cette situation peut correspondre à une parcelle sans végétation ou à une culture en tout début de développement végétatif. Dans ces conditions, tout obstacle qui réduit la vitesse du ruissellement (diguettes, cordons pierreux, fascines, cultures en billons perpendiculaires à la pente) limite l'érosion. De même, les techniques culturales qui augmentent la rugosité du sol limitent le ruissellement et par conséquent l'érosion : labour motteux, buttage, etc.

● **Le ruissellement et l'érosion hydrique**

À l'échelle de la parcelle cultivée, le ruissellement correspond à une perte en eau. Cela peut avoir des effets néfastes sur l'alimentation hydrique des cultures. Des coefficients de ruissellement de 30 % sont fréquents en zone sahélo-soudanienne. Dans le cas d'une pluie de 20 mm, favorable par exemple au labour ou au semis, la perte en eau correspond à 6 mm. Ainsi, 14 mm seulement sont disponibles pour la culture. À l'échelle du bassin versant, les pertes en eau sont plus élevées en haut de pente et le long des glacis ; inversement, des excès d'eau correspondant à l'engorgement des sols ou la formation de nappes d'eau libre en surface sont observés en bas de pente. L'excès d'eau entraîne l'asphyxie des cultures et donc une perte de production.

Le ruissellement et l'érosion peuvent entraîner l'arrachement des jeunes plants ou une mauvaise levée de la culture par le transport des semences. Dans les zones d'accumulation, les plantules peuvent être enfouies par les matériaux transportés et mourir. Ces phénomènes sont la cause d'une faible densité de la culture, préjudiciable à rendement.

La perte en terre et en éléments nutritifs est la conséquence la plus grave de l'érosion. Au fil des ans, les parcelles érodées s'appauvrissent, le taux de matière organique de l'horizon de surface et sa teneur en éléments minéraux s'amenuisent.

Ces phénomènes ne sont généralement pas compensés par des apports d'éléments minéraux et organiques. La plupart des paysans ne peuvent pas accéder à ces intrants ou les utilisent à faible dose. Dans le cas où ils les utilisent, le ruissellement et l'érosion réduisent leur efficacité :

- > par le transport hors de la parcelle d'une partie de la fumure. Ceci est fréquemment observé dans le cas d'apport de fumure organique mal enfouie dans le sol ;
- > du fait d'une mauvaise alimentation hydrique due au ruissellement.

Une mauvaise alimentation hydrique et une dégradation physique et chimique des sols cultivés provoquent une baisse des rendements et compromettent toute tentative d'intensification des systèmes de cultures. Dans les zones à forte érosion, le décapage de l'horizon de surface, l'arrachage des particules de matières organiques et le tassement du sol par le ruissellement entraînent l'apparition de plaques de sol nu et inculte. Enfin, le développement des ravines entraîne une dégradation des pistes rurales et peut compromettre les déplacements durant la saison des pluies.

LES TECHNIQUES DE CONTRÔLE ET LES AMÉNAGEMENTS ANTI-ÉROSIFS

● *L'érosion vue par les agriculteurs*

En zones semi-arides et de savane

Le renforcement des aléas pluviométriques depuis le début des années soixante-dix a amené certains agriculteurs à développer des stratégies de lutte contre la sécheresse : semis précoce, associations de culture et techniques permettant de conserver l'humidité du sol (paillage), de favoriser l'infiltration de l'eau et de ralentir le ruissellement. L'érosion diffuse due au ruissellement en nappe est difficilement observable par les agriculteurs qui ne perçoivent pas les pertes en sol et en nutriments, outre les pertes en eau. L'érosion inquiète les paysans lorsque se développe un réseau de rigoles et de ravines facilement visibles dans le paysage, qui provoque une réduction de la surface cultivable et un accroissement des pertes en eau.

En zones forestières

L'érosion est moins accentuée car le couvert végétal protège le sol durant la majeure partie de l'année. L'érosion peut être une contrainte importante à la production agricole lorsque les agriculteurs sont obligés de cultiver sur les pentes. L'érosion se manifeste alors sous la forme de ravinement ou de glissement de terrain qui peut détruire tout ou partie d'une parcelle.

Les agriculteurs développent parfois des techniques de contrôle du ruissellement et de l'érosion lorsque ceux-ci entraînent une forte réduction de leur production : baisse des rendements ou diminution de la surface cultivable. Il s'agit donc plus de stratégies curatives que de pratiques préventives de contrôle de l'érosion. Les réponses techniques sont rares lorsque l'érosion devient importante et qu'elle nécessite d'importants investissements matériels ou en travail.

● Les principales techniques de lutte

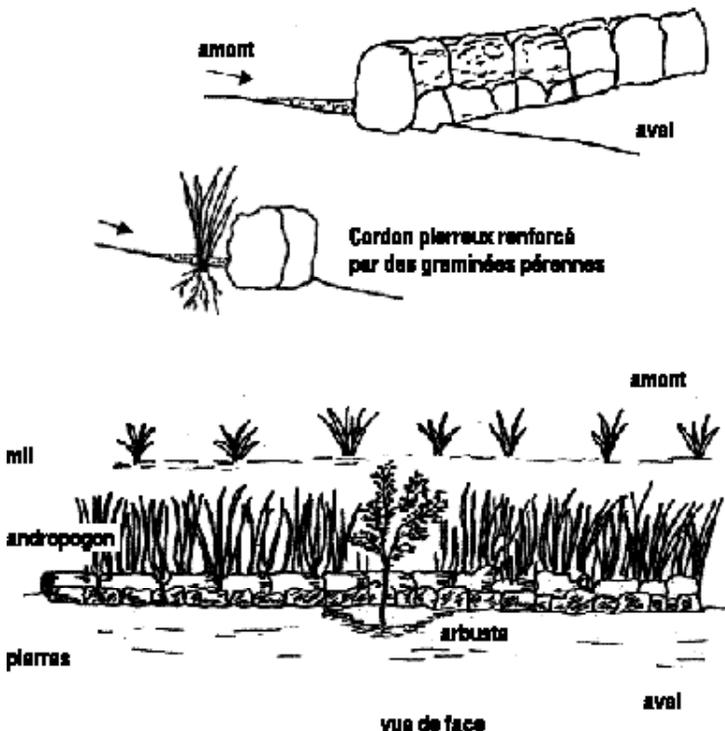
Les techniques de lutte contre l'érosion sont nombreuses et diffèrent d'une région à une autre : zones montagneuses, zones semi-arides à faible pente, ou zones soudanaises à forte pluviométrie concentrée pendant 4 ou 5 mois par an. Nous présentons dans ce chapitre une classification des techniques les plus utilisées actuellement.

Le référentiel technique de lutte contre l'érosion hydrique était relativement limité avant 1970. Il s'est enrichi ces trente dernières années par la reconnaissance et la diffusion de techniques paysannes : les cordons pierreux et la récupération des sols nus et compactés (Afrique sahélienne), la couverture permanente du sol par des végétaux (utilisation du *Mucuna pruriens* en Amérique Centrale) et les murets de pierres sèches (zones montagneuses d'Afrique). L'utilisation de ces techniques mises au point par les agriculteurs est en effet souvent très circonscrite. Nombre d'interventions d'appui au développement rural se fixent comme objectif la généralisation de l'utilisation de ces techniques, là où elles permettent de contrôler efficacement l'érosion.

● Les bassins versants et les parcelles cultivées

● Les aménagements physiques

Les aménagements physiques correspondent à des obstacles construits par l'agriculteur afin de réduire la vitesse du ruissellement, de favoriser l'infiltration des eaux pluviales et donc de limiter l'érosion. On parle d'aménagement biologique lorsque ces obstacles sont constitués par des végétaux (touffes de graminées pérennes, arbustes, arbres).



► Figure 2 : Détails d'un cordon pierreux

Les aménagements des glacis à pente faible ou modérée

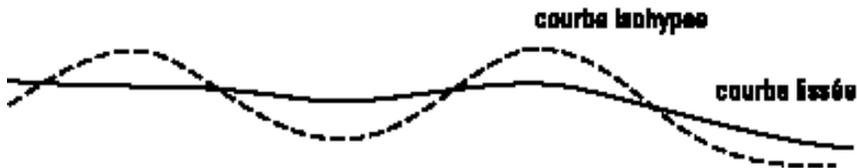
La technique du cordon pierreux est la plus appréciée des paysans lorsque des blocs de latérite ou de roche se trouvent à proximité de la zone à aménager. Le cordon pierreux est composé de blocs de pierre disposés selon une courbe de niveau tracée préalablement. Il a pour fonction de :

- > ralentir l'eau de ruissellement sans la stopper, ce qui réduit l'érosion et favorise l'infiltration de l'eau, surtout aux abords du cordon pierreux. Cette technique n'entraîne pas d'engorgement du sol préjudiciable aux cultures ;
- > favoriser la sédimentation des particules (le sable, mais aussi les particules plus fines et la matière organique) en amont du cordon pierreux. Si les cordons pierreux sont assez hauts, on aboutit progressivement à la formation de terrasses à très faible pente.

Tracer une courbe de niveau

La courbe de niveau (ou courbe isohypse) peut être tracée avec des matériels simples de topographie que les agriculteurs peuvent construire eux-mêmes (niveau A, niveau à eau...). Le même matériel peut servir à calculer la pente du terrain et l'intervalle entre deux diguettes.

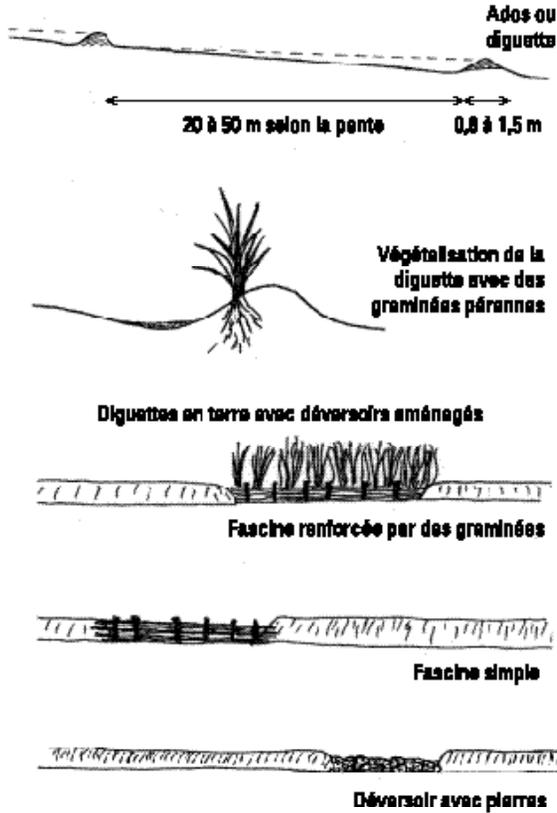
Le recours à un appareil professionnel de topographie n'est pas à exclure si les agriculteurs peuvent faire appel à un service public équipé de ce matériel. S'ils ont les moyens de rétribuer un topographe privé, ce dernier permet de travailler plus rapidement et avec une meilleure précision. Il est préférable de lisser la courbe de niveau afin de construire un cordon pierreux ou un ados plus rectiligne : l'exécution des travaux culturaux, les semis en ligne et surtout les opérations de culture attelée, en sont facilitées.



➤ Figure 3 : Lissage des courbes de niveaux

Les ados en terre ou diguettes en terre sont surtout vulgarisés dans les régions où les pierres ne sont pas disponibles. L'ados est construit selon la courbe de niveau, généralement en début de saison des pluies lorsque le sol est ameubli. Il est réalisé manuellement à l'aide de pelles, de pioches et si possible d'une dame pour tasser la terre. Le passage d'une charrue à traction animale peut faciliter ce travail. L'ados en terre constitue un obstacle imperméable, ce qui entraîne fréquemment des concentrations d'eau en amont de l'ados. Deux solutions permettent d'éviter cet inconvénient :

- > des déversoirs en pierres ou avec des fascines de branches disposées régulièrement le long de l'ados rendent perméables le dispositif, ce qui permet de mieux gérer le ruissellement en cas de forte pluie ;
- > les ados peuvent être construits non pas selon la courbe de niveau mais suivant une faible pente de l'ordre de 0,1 % à 0,3 % ce qui permet l'écoulement des eaux excédentaires.



► Figure 4 : Détails d'ados ou diguettes en terre

Les aménagements avec ados en terre sont relativement complexes à installer et nécessitent une bonne précision des mesures, ce qui est difficile à obtenir avec des matériels topographiques fabriqués localement comme le niveau à eau.

Les fascines en paille, en branches et en piquets de bois, sont rarement utilisées sur de grandes surfaces car elles nécessitent de grandes quantités de matériaux souvent difficiles à obtenir. Les fascines sont efficaces en début de saison des pluies, lorsqu'elles viennent d'être installées mais elles sont fragiles, facilement attaquées par les termites et disparaissent assez rapidement en cours de saison si on ne les répare pas régulièrement. De ce fait cette technique est surtout recommandée pour ralentir le ruissellement dans les passages d'eau lorsque les pierres ne sont pas disponibles.



► Figure 5 : Fascine en branches

Le traitement des rigoles, des ravines et des exutoires naturels

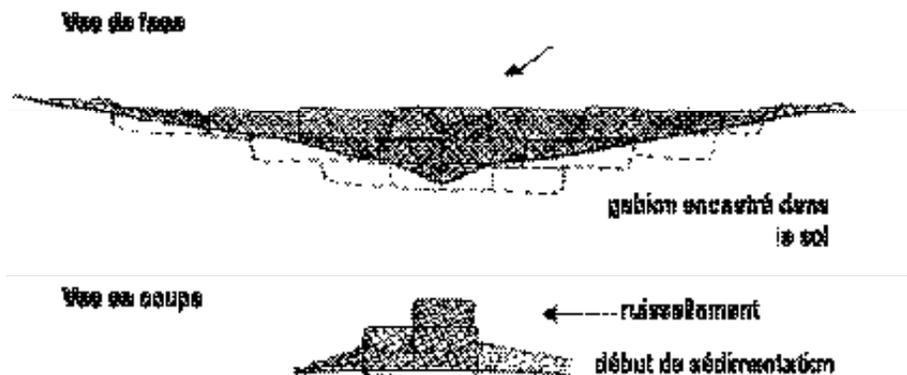
Les ravines en Afrique soudano-sahélienne peuvent atteindre 1 m de profondeur, plusieurs mètres de largeur et s'étendre sur plusieurs centaines de mètres. Les populations rurales demandent souvent l'aide des services de développement pour traiter les grosses ravines qui menacent leurs habitations ou emportent les champs et les chemins. Le traitement de ces grosses ravines juste en amont de la piste ou du village menacés aboutit souvent à des échecs. L'ouvrage en pierres et en gabions est facilement emporté par une forte crue. Le traitement d'une telle ravine doit se raisonner par rapport à l'ensemble du réseau de rigoles et de ravineaux qui l'alimente. Il est souvent nécessaire de procéder par étapes en aménageant la partie amont du bassin versant, ou au moins les têtes des ravines secondaires.

Les ouvrages de traitement des ravines peuvent avoir les fonctions suivantes :

- > ralentir le débit de l'eau ;
- > stabiliser les bords et le fond de la ravine pour éviter l'érosion régressive ;
- > évacuer une partie de l'eau vers une parcelle voisine (captage et épandage de la crue).

Selon la taille de la ravine, ces ouvrages sont plus ou moins coûteux et complexes à installer. Pour le traitement des rigoles et des petites ravines, des murets de pierres ou des alignements de sac remplis de sable ou de terre peuvent être utilisés ; des fascines fabriquées avec du bois imputrescible et du grillage peuvent aussi être efficaces.

Le traitement des grosses ravines nécessite d'utiliser des gabions en fil de fer remplis de pierres. Ce type d'ouvrage appelé digue filtrante ou barrage-seuil permet de stabiliser la ravine et de favoriser la sédimentation des particules de terre provenant de l'amont. Dans certains cas, il est possible de mettre en culture la zone de sédimentation, en y implantant par exemple du riz ou du sorgho.



► Figure 6 : Ouvrage en gabions

Les aménagements des pentes fortes

La lutte contre l'érosion en zone de montagne nécessite des techniques spécifiques et une bonne précision dans l'exécution des travaux. Les principes d'aménagement sont les mêmes que ceux des zones à pente faible : ralentir le ruissellement, favoriser

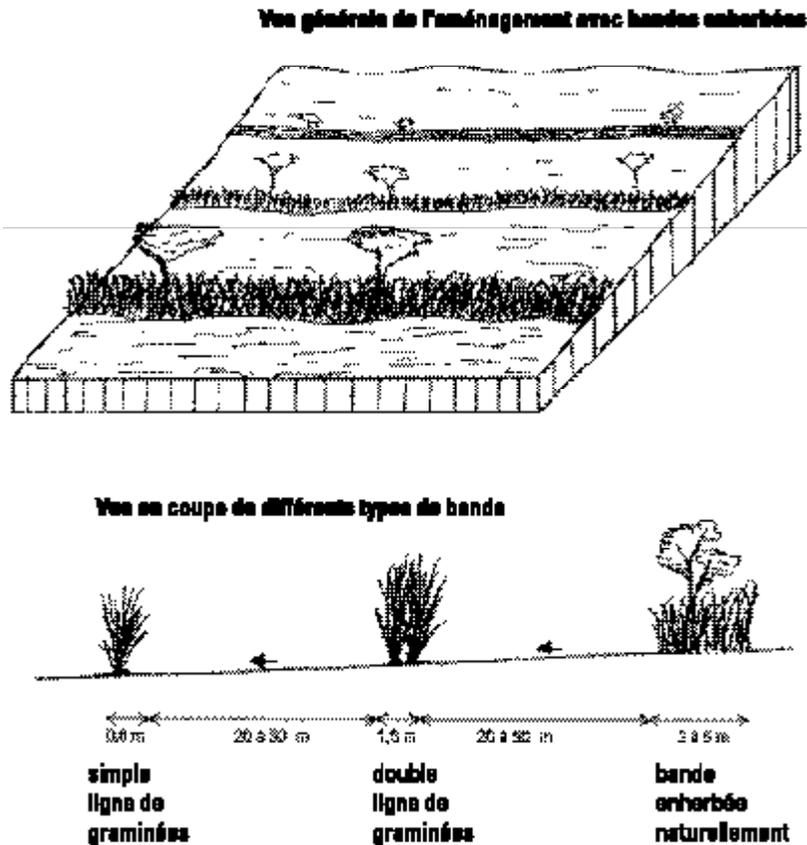
l'infiltration de l'eau et évacuer les eaux excédentaires que la zone aménagée ne peut pas absorber. Ce dernier point est particulièrement important en zone montagneuse, du fait de la vitesse importante du ruissellement et des fortes pluviométries que l'on y rencontre (parfois plus de 2000 mm/an).

Les eaux de ruissellement, provenant de l'amont, peuvent être canalisées par un fossé de diversion creusé juste au-dessus de la zone à aménager. Les eaux excédentaires, qui circulent dans la zone aménagée, peuvent être canalisées par des fossés à faible pente creusés en amont des ados ou des banquettes. Elles peuvent ainsi être évacuées vers les exutoires naturels. L'aménagement de ces exutoires est indispensable si on ne veut pas aboutir à la création d'une ravine à cet endroit.

L'écartement entre les dispositifs anti-érosifs (ados, banquette, bourrelet, muret de pierre) est calculé en fonction de la pente. L'objectif est d'obtenir la création de terrasses relativement planes qui vont pouvoir être cultivées sans risque érosif. Généralement, ces aménagements physiques sont renforcés par la plantation d'arbres, d'arbustes ou de graminées pérennes.

● **Les aménagements biologiques**

Les aménagements biologiques sont des dispositifs anti-érosifs constitués de végétaux pérennes : graminées, arbustes, arbres, etc.



► Figure 7 : Aménagement anti-érosif avec bandes enherbées ou lignes de graminées

Les bandes enherbées

Dans les régions où les pierres ne sont pas disponibles, un dispositif de bandes enherbées disposées perpendiculairement à la pente peut suffire à freiner le ruissellement et à contrôler l'érosion. Les bandes enherbées peuvent provenir du défrichage raisonné de la végétation naturelle lorsque le paysan met en culture une parcelle après une période de jachère. Dans ce cas, il procède auparavant au piquetage des bandes de terres qu'il ne va pas défricher. Ces bandes peuvent aussi être installées dans une parcelle déjà cultivée où l'érosion prend de l'ampleur.

Les bandes enherbées peuvent varier de 1 à 3 m en fonction de la pente et des disponibilités en terre des paysans. Elles fonctionnent comme un filtre. Cette technique est bien adaptée aux zones de savanes humides et forestières où les graminées pérennes s'installent naturellement. Les paysans apprécient la facilité d'installation des bandes enherbées mais craignent qu'elles entraînent la prolifération des rongeurs et des serpents et qu'elles favorisent l'enherbement des cultures.

Les lignes de graminées pérennes

Dans les zones plus sèches, l'installation spontanée de graminées pérennes est plus longue et plus difficile à obtenir. Il est alors possible de semer ou de repiquer des graminées pour constituer rapidement les bandes enherbées isohypses. Le travail d'installation est long et il peut entrer en concurrence avec les travaux agricoles. Cette technique est bien adaptée aux situations où la terre manque. Ainsi une double ligne de graminées pérennes peut constituer un ouvrage efficace contre l'érosion et n'occuper qu'une bande de terre de 80 cm de largeur. Pour renforcer ce type de dispositif, une ligne de graminées peut être associée avec une ligne d'arbustes épineux, généralement plus résistants à la sécheresse et au passage du bétail.

Semis d'*Andropogon gayanus*

La technique du repiquage d'*Andropogon gayanus* à partir d'anciennes touffes est bien connue des paysans du Sahel, mais ses résultats sont aléatoires si une période sèche suit la phase de repiquage. Le semis de cette graminée pérenne donne de bons résultats même en zone semi-aride. Il faut au préalable préparer le sol où l'on souhaite semer l'andropogon. Un semis au flanc d'un ados en terre ou en amont d'un cordon pierreux a de bonnes chances de réussir. Les semences sont mélangées à du sable 12 à 24 heures avant le semis, brassées avec le sable humide pour éliminer les poils hydrophobes et laissées en tas ou dans un sac pour faire pénétrer l'eau dans les graines. Ce mélange semences + sable est déposé au fond d'une rainure de 1 cm de profondeur et tassé au pied. La levée a lieu cinq à huit jours plus tard.

L'embocagement et le défrichage raisonné

Les arbres peuvent aussi constituer un frein à l'érosion dans les zones cultivées. Des lignes d'arbres ou d'arbustes sont implantées autour des champs pour constituer des brise-vent ou des haies vives afin d'empêcher le bétail d'y pénétrer. Ces aménagements correspondent à l'embocagement du paysage agricole. Les haies vives d'arbustes plantés à forte densité (50 cm entre deux pieds) constituent des barrières filtrantes qui ralentissent efficacement le ruissellement.

Le maintien d'un nombre limité d'arbres dans les parcelles cultivées (20 à 40 arbres/ha) limite l'érosion hydrique et participe au maintien de la fertilité des sols.

La frondaison des arbres réduit localement l'intensité des pluies. Il est donc important, au moment du défrichement, de conserver des arbres dans les champs et tout particulièrement ceux qui concurrencent le moins les cultures, comme *Faidherbia albida*.

● **Les complémentarités entre aménagements physiques et biologiques**

Il est préférable d'associer les deux types d'aménagement lorsque cela est possible. Ainsi, les ados ou les diguettes en terre disparaissent rapidement faute d'entretien régulier. Les paysans ont peu de temps pour recharger ces aménagements en terre et leur pérennité est mieux assurée lorsqu'on les renforce avec des touffes de graminées ou des arbustes. Cette *végétalisation* a aussi pour intérêt de conserver une trace du travail de topographie, relativement coûteux à réaliser.

Même les ouvrages en pierre peuvent disparaître faute d'entretien régulier, surtout dans les zones d'écoulement concentré des eaux : ravine aménagée par une digue filtrante, un barrage seuil, etc. L'implantation de végétaux pérennes peut améliorer l'efficacité et la solidité de ces ouvrages : lignes de touffes de graminées pérennes en amont des ouvrages en pierre, arbustes pour consolider les berges d'une ravine, etc.

● **Les techniques culturales anti-érosives**

La façon de travailler le sol, d'implanter les cultures, de gérer les résidus de culture et plus globalement d'entretenir la fertilité du sol peuvent limiter le ruissellement et l'érosion hydrique.

● **Le travail du sol et l'érosion**

Le labour accroît la capacité de stockage de l'eau dans le sol pendant environ un mois après sa réalisation. Le labour accroît la rugosité du sol et limite la vitesse de ruissellement des premières pluies. Cet effet est encore plus remarquable lorsque le labour est réalisé en billons perpendiculairement à la pente. Mais un labour réalisé dans de mauvaises conditions d'humidité – sol trop sec – et surtout dans le sens de la pente, peut avoir un effet inverse et favoriser l'érosion.

● **L'implantation et l'entretien des cultures¹**

Le semis précoce et l'association de cultures à ports différents² ont pour effet de couvrir plus rapidement le sol et de le protéger de l'érosion. Le semis en ligne perpendiculairement à la pente va permettre aux paysans de réaliser des entretiens manuellement ou en culture attelée (sarclage, buttage) qui vont réduire le ruissellement et donc l'érosion.

● **La couverture du sol**

La couverture permanente du sol est une façon très efficace de limiter l'érosion. Les techniques traditionnelles d'implantation des cultures reposent généralement sur le nettoyage des champs et le brûlis des résidus de la culture précédente, des adventices et des repousses d'arbustes. Le semis réalisé sur un terrain nu expose le sol aux pluies érosives pendant la période de développement des cultures (de trois à cinq semaines selon le type de culture).

1 Cf. chapitre 423.

2 Par exemple une céréale à port dressé et une légumineuse à port rampant.

Les agronomes et les paysans dans diverses régions tropicales mettent au point des méthodes de culture sans travail du sol et avec une couverture végétale permanente du sol. Cette couverture peut être obtenue en laissant à la surface du sol les résidus de culture ou un mulch obtenu par l'installation d'une plante de couverture comme le *mucuna* ou le *pueraria*. Ces mulchs ont un effet anti-érosif remarquable et leur décomposition améliore les caractéristiques physiques, biologiques et chimiques du sol.

● **Les techniques culturales et l'aménagement des zones cultivées**

Dans les situations à fort risque d'érosion (pente forte, pluies violentes, couvert végétal limité) les techniques culturales bien choisies ne suffisent pas à limiter le ruissellement et l'érosion hydrique. Il est indispensable d'installer au préalable des aménagements anti-érosifs. Un aménagement anti-érosif est beaucoup plus efficace s'il est associé à des techniques culturales adéquates. Par exemple, un aménagement avec des cordons pierreux va ralentir le ruissellement mais ne favorisera pas l'infiltration de l'eau sur l'ensemble de la parcelle surtout si les sols sont dégradés, pauvres en matière organique, tassés par l'effet du passage du bétail. Il faudra alors associer aux cordons pierreux des techniques de travail du sol (grattage, sous-solage, labour) et apporter de la matière organique (paillis, fumure animale).

CHOISIR UN AMÉNAGEMENT ANTI-ÉROSIF

● **Les avantages et les inconvénients des techniques**

Pour une région donnée, il n'existe pas un modèle unique d'aménagement. Le conseil en matière d'aménagement implique de faire au préalable un diagnostic précis de la situation, en associant les paysans et en particulier ceux qui connaissent depuis longtemps le terroir villageois. On prendra ainsi en compte les caractéristiques du milieu physique à aménager (pluviométrie, pente, type de sol, etc.), mais aussi les capacités d'intervention des populations. Les paysans feront aussi l'inventaire des moyens dont ils disposent individuellement ou collectivement (au niveau des groupements ou de la communauté) : pelles, pioches, brouettes, réseau de connaissance pour louer un camion ou un engin de travaux publics, point d'eau permanent pour installer une pépinière.

Le conseiller en aménagement proposera ensuite les différentes possibilités techniques en précisant chaque fois avantages et inconvénients du point de vue du coût en travail d'installation et d'entretien, et de l'investissement en matériels et en équipements.

Tableau 1. Comparaison des divers dispositifs anti-érosifs et des techniques complémentaires

Type d'aménagement	Efficacité	Coût en travail	Coût en équipement	Besoins d'entretiens ultérieurs
<i>Cordons pierreux</i>	+++	variable selon l'éloignement des pierres	assez élevé : brouette et charrette, voire location de camion	assez limité si association avec graminées
<i>Ados en terre diguette en terre</i>	+ (disparition rapide des ados en l'absence d'entretien)	limité si aide d'une charrue bovine ou d'un tracteur	limité : pelle, pioche, etc.	Élevé : végétalisation ou entretien chaque année
<i>Bandes enherbées et lignes de graminées pérennes</i>	++ si végétation bien développée et bon contrôle du feu et de la divagation du bétail	– limité en région pluvieuse – plus important en zone sèche (repiquage des graminées)	limité si recours à du matériel végétal local	– limité en zone pluvieuse – élevé en zone sèche : renouvellement des végétaux tous les 3 à 4 ans
<i>Digue filtrante, seuil en gabions et traitement de ravine</i>	+++ uniquement dans les passages d'eau avec impact sur l'ensablement des bas-fonds	important, nécessite une bonne organisation et une forte mobilisation des populations concernées	très important si achat de gabions, location de camion, etc.	Passage régulier sur les ouvrages, intervention à effectuer dès qu'il y a un début de dégradation
<i>Haies vives, embocagement, parc arboré</i>	+ constitue un complément aux autres techniques d'aménagement	limité si production locale de plants, défrichement raisonné et gestion des rejets	assez limité : matériel de pépinière	– important pour le regarnissage et la taille des haies. – limité pour les parcs arborés
<i>Culture avec couverture permanente du sol</i>	+++ si le mulch n'est pas détruit par le feu et le passage du bétail	limité si bonne technicité pour le contrôle des adventices pouvant percer le mulch	moyen : semoir adapté, matériel d'épandage d'herbicide	pas d'entretien mais reconduction des mêmes techniques chaque année

● **Tenir compte de la pluviométrie**

Selon l'abondance et la régularité de la pluviométrie, on cherchera à stocker le maximum d'eau dans le sol ou à détourner des champs une partie du ruissellement qui pourrait nuire aux cultures. Le régime pluviométrique va donc orienter le choix des techniques d'aménagement. On distingue ainsi :

- > les dispositifs avec absorption totale (ou infiltration totale) des eaux de pluies. Ils concernent les zones semi-arides à pluviométrie inférieure à 800 mm. Dans les zones arides (moins de 400 mm), on peut être amené à capter des eaux de ruissellement provenant des zones amont pour les détourner vers la parcelle cultivée ;
- > les dispositifs avec absorption partielle des eaux et diversion des eaux excédentaires. Ils concernent les régions à forte pluviométrie. Les eaux de ruissellement excédentaires sont canalisées dans des fossés et évacuées par les exutoires naturels.

● **Situer l'intervention : de la parcelle cultivée au bassin versant**

Un aménagement anti-érosif est plus efficace lorsqu'il concerne un ensemble de parcelles cultivées et la zone non cultivée située en amont, soit une portion de bassin versant. La lutte contre l'érosion consiste alors à ralentir les eaux de ruissellement avant

qu'elles ne pénètrent dans la zone cultivée, à aménager les champs et les exutoires naturels ou les ravines qui se situent souvent entre les parcelles. L'effet de ces aménagements est renforcé par le choix de techniques culturales anti-érosives. Cette approche globale à l'échelle du bassin versant est recommandée mais elle implique que la majorité des paysans qui le cultivent s'associent pour réaliser les travaux d'aménagement ou coordonnent leurs interventions.

Dans le cas où il ne serait pas possible de regrouper l'ensemble des paysans autour de cet objectif d'aménagement, il est possible de procéder à des aménagements individuels, parcelle par parcelle. La lutte à l'échelle de la parcelle peut être efficace si le ruissellement venant de l'amont n'est pas trop important ou s'il peut être facilement détourné. Mais, dans ce cas, on ne traitera pas l'ensemble des problèmes d'érosion et de mauvaise utilisation des eaux de pluies à l'échelle du bassin versant, en particulier les excès d'eau et l'ensablement des bas-fonds.

● **L'organisation des chantiers d'aménagement**

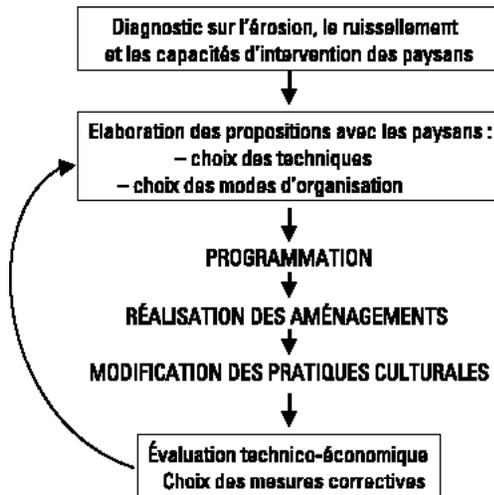
Les appuis que l'on peut apporter aux paysans souhaitant aménager leurs champs ou leur terroir vont différer selon qu'ils ont opté pour un aménagement individuel (à l'échelle de la parcelle) ou collectif (à l'échelle d'une portion de bassin versant). Un programme de lutte contre l'érosion et d'aménagement des zones agricoles sera efficace si les paysans peuvent bénéficier d'appuis dans trois domaines au moins :

- > la formation aux techniques d'aménagement et en particulier à la réalisation de mesures topographiques simples. Le recours à un prestataire de service disposant d'une lunette de chantier est une option à étudier avec les paysans. Cette solution permet de faire un travail précis et rapide ;
- > la fourniture des plants, des semences et des boutures nécessaires à la réalisation des aménagements. On proposera de valoriser le matériel végétal disponible localement (*Andropogon gayanus* au Sahel par exemple) avant de procéder à l'introduction d'espèces exotiques ;
- > le transport des matériaux (en particulier des pierres). Selon les situations, on peut soit opter pour des matériels relativement peu coûteux (brouettes, charrettes asines ou bovines) qui peuvent être prêtés ou vendus, soit subventionner la location d'un camion.

L'achat des gabions nécessaires à la réalisation des digues filtrantes et des barrages de correction de ravine nécessite une subvention d'un projet, d'une collectivité locale (commune, région) ou de l'Etat.

La réalisation des aménagements implique une bonne organisation de la part des populations d'un bassin versant (ou plus simplement des membres d'une exploitation) afin de planifier les travaux sur plusieurs années. Sans oublier de programmer les travaux d'entretien des aménagements déjà réalisés.

Aucun modèle d'aménagement ou d'organisation ne doit être imposé. Il faut rechercher avec les agriculteurs les solutions concrètes qu'ils peuvent mettre en œuvre et maîtriser par la suite avec des appuis extérieurs plus faibles, voire sans appui. Pour cela on peut s'aider d'un schéma classique d'organisation du travail qui associe diagnostic, programmation, réalisation et évaluation.



► Figure 8 : Déroulement d'un programme d'aménagement

● Intégrer les dispositifs dans un plan d'aménagement du terroir³

L'aménagement des terres cultivées doit si possible s'intégrer dans un schéma plus global d'aménagement du terroir. Celui-ci prend en compte certains éléments souvent sous-estimés par les populations rurales et les services d'appui au développement rural, ce qui compromet l'efficacité et la pérennité des aménagements anti-érosifs :

- > les déplacements du bétail (pistes à bétail), des hommes et des matériels agricoles (pistes rurales) doivent être prévus dans le schéma d'aménagement, afin d'éviter la destruction des dispositifs anti-érosifs. On constate très souvent que les chemins non aménagés sont à l'origine de ravines ;
- > la délimitation de zones pastorales permet de limiter la divagation du bétail, cause fréquente de destruction des jeunes plantations ou de dégradation d'aménagements physiques ;
- > la gestion du feu, selon des modalités mises au point conjointement par les agriculteurs et les éleveurs, permet de réduire les pertes de matière organique par brûlis mais surtout de préserver les bandes enherbées, les plantations d'arbres mal désherbées et les mulchs de plantes de couverture.

³ Cf. chapitre 232.

Bibliographie

- CHLEQ J-L., DUPRIEZ H., 1984. *Eau et terres en fuite. Métiers de l'eau du Sahel*. Terres et vie, L'Harmattan, ENDA, Nivelles (Belgique), 125 p.
- DUGUÉ P., RODRIGUEZ L., OUOBA B., SAWADOGO I., 1994. *Techniques d'amélioration de la production en zone soudano-sahélienne. Manuel à l'usage des techniciens du développement rural, élaboré au Yatenga, Burkina Faso*. CIRAD, Montpellier, France, 209 p.
- GIGOU J.; COULIBALY L., 1997. *L'aménagement des champs pour la culture en courbes de niveau au Sud du Mali*. Agriculture et développement n° 14, p. 47-57
- REIJ C., SCOONES I., TOULMIN C., 1996. *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*. Karthala (Coll Economie et développement), Paris, 355 p.
- ROCHETTE R-M (Ed), 1989. *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*. CILSS/PAC/GTZ, Ed. Margraf, Weikersheim, Allemagne, 592 p.
- ROOSE E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES), nouvelle stratégie de lutte anti-érosive*. Bulletin pédologique n°70, Rome, FAO, 420 p.
- RUELLE P. et al., 1990. *Défense et restauration des sols*. Coll. Fiches techniques, ISRA, CIRAD, Réseau RBS, Dakar, Montpellier, vol. 1, 6 fiches.
- VLAAR J.C.J. (Ed), 1992. *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel*. CIEH Ouagadougou (Burkina Faso), Université agronomique Wageningen (Pays Bas).

La gestion des forêts et des pâturages

À partir d'une contribution de A. Bertrand (CIRAD), F. Besse (CIRAD), N. Gaidet (CIRAD), O. Hamel (CIRAD), B. Toutain (CIRAD)

QUELQUES DÉFINITIONS

● *La végétation naturelle comme ressource*

La végétation naturelle, définie comme celle ne résultant pas d'une action volontaire de l'homme, a longtemps été le premier réservoir de ressources alimentaires, énergétiques et de matières premières pour l'espèce humaine. Même si la production agricole a de plus en plus recours à des espèces domestiquées et sélectionnées, la végétation naturelle est encore, pour les sociétés actuelles, un pourvoyeur important en matériaux, quel que soit leur niveau de développement. Elle fournit les bois d'œuvre et de service, le bois énergie, des produits alimentaires variés comme les fruits ou indirectement la viande de chasse, du fourrage pour le bétail, des substances diverses pour l'artisanat, l'industrie et les médicaments, etc.

Les espaces laissés à la végétation naturelle sont donc le lieu d'activités multiples : exploitation forestière, élevage pastoral, cueillette de produits dits «non ligneux» comme la gomme et, parfois, chasse, pêche et activités de loisir. Outre ces fonctions, la végétation naturelle constitue l'un des compartiments de la biosphère et l'un des principaux réservoirs de biodiversité. C'est en ce sens que l'on cite la végétation comme une ressource naturelle renouvelable.

Les mots de foresterie, de pastoralisme, de chasse et de pêche contiennent à la fois le sens d'exploitation et celui de gestion de la ressource. Lorsque l'on évoque l'utilisation organisée des productions végétales ou animales sauvages, la notion de durabilité est implicite.

● *Les végétations tropicales*

Si l'on se limite à la zone intertropicale et autres régions chaudes, les végétations naturelles, malgré leur diversité, entrent dans l'une ou l'autre des classes présentées ci-dessous.

La forêt

C'est une végétation qui occupe une superficie supérieure à 0,5 ha et où le couvert arboré dépasse 10 % de la surface. Les arbres ou les bambous sont censés dépasser une taille de 5 m à maturité. La forêt est associée à une flore et à une faune sauvage et à

des sols à l'état naturel qui ne font pas l'objet d'utilisation agricole. Les principaux exemples de forêts tropicales sont les forêts denses humides, les forêts caducifoliées¹, les forêts sèches, les forêts claires, les forêts galeries (ou forêts ripicoles).

La savane

C'est une végétation avec un couvert continu de plantes herbacées de plus de 80 cm de haut, à base de graminées pérennes à feuilles plates. Les plantes ligneuses sont généralement présentes, dispersées ou en petits groupes. La savane peut être arbustive, arborée, boisée, parc, selon sa densité, sa taille et sa disposition. La savane est souvent soumise au feu.

La prairie

C'est une végétation continue, composée essentiellement de plantes herbacées, principalement des graminées ou des cypéracées ; les ligneux sont absents comme dans les prairies inondables ou marécageuses ou les prairies montagnardes.

La steppe

C'est une végétation généralement discontinue. Les graminées ont une taille généralement inférieure à 80 cm. Dans les steppes herbeuses ou les steppes arbustives du Sahel, les plantes annuelles sont nombreuses. Des steppes buissonnantes (à base d'arbrisseaux et d'arbustes) ou des steppes succulentes (à base de plantes grasses) existent aussi dans les régions chaudes.

Les fourrés et les mangroves

Les fourrés, végétation à base d'arbustes et les mangroves, végétation des régions côtières à base de palétuviers, constituent d'autres formes de végétations ligneuses.

LES MODES D'EXPLOITATION ET DE GESTION

● **La forêt**

● **Les usages forestiers**

Dans les pays tropicaux, les formations forestières diffèrent selon qu'elles se trouvent en zone humide ou en zone sèche. Les ressources que les populations en tirent et les services qu'elles peuvent offrir diffèrent de la même façon. Les méthodes d'évaluation et d'aménagement doivent être adaptées.

En zones tropicales humides

La forêt pré-existe aux cultures agricoles qui ne peuvent être installées qu'après abattage et défrichage de la forêt. Les fronts pionniers, limites entre forêt et zone agricole, en sont l'exemple. Les produits recherchés sont ligneux² mais aussi non ligneux³. Des services, précieux pour l'agriculture, sont directement liés à la présence de la forêt: fertilité des sols, couvert pour les jeunes plantations. Ces produits profitent directement et essentiellement aux populations.

1 Caducifolié : dont le feuillage tombe pendant la saison sèche.

2 Bois d'œuvre, bois de service, bois de feu.

3 Fruits, fleurs, feuilles, écorces, chenilles, larves et petits mammifères, champignons, épiphytes, miel, racines.

En zones sèches

La structure de la forêt et des formations forestières n'est pas comparable : elle est plus diffuse, l'impact des interventions humaines est important, l'imbrication est forte entre l'agriculture, les formations forestières et l'élevage. Le système agricole imprime sa marque sur la structure et la composition des formations forestières. L'agriculture d'abattis-brûlis répartit les prélèvements sur la forêt alors que l'agriculture sédentaire les concentre dans l'espace. Les principaux produits recherchés sont les matières grasses et les fruits. Pour les palmiers, pratiquement toutes les parties de la plante sont utilisées : stipe pour la charpente, vannerie, natte et cordage avec les feuilles, balais avec les nervures, fruits pour la consommation, sève pour la fabrication d'alcool, etc. L'arbre fait partie intégrante du paysage agricole et participe à la stabilisation des sols et à la lutte contre l'érosion.

En zone sahélienne

Le rôle des arbres dont les feuilles sont consommées par le bétail est primordial pour le maintien de l'élevage. Sans les arbres fourragers, le bétail ne pourrait survivre durant la saison sèche. Une alimentation composée uniquement de graminées sèches ne saurait suffire. Les légumineuses arborées sont les plus importantes : le cas de *Faidherbia albida* est à ce titre emblématique.

● L'inventaire et l'évaluation de la ressource

Les produits de la forêt, les structures forestières et l'impact des actions anthropiques présentent une grande diversité : on doit donc adapter les méthodes d'évaluation à chaque cas. Pour la ressource ligneuse sur pied, l'évaluation s'appuie principalement sur des inventaires associant analyse cartographique et mesures sur le terrain. La comparaison des résultats d'inventaire menés à intervalles réguliers permet l'étude de la dynamique des ressources. S'intéresser également aux produits non ligneux (fruits, gousses, biomasse fourragères, etc.) permet de compléter les inventaires. Cela permet par ailleurs d'intégrer les données sur l'appréciation de la ressource par les populations locales et sur les modes d'exploitation et les règles de gestion de ces différentes ressources, pour les différents types d'acteurs (cf. chapitre 231) : par exemple stratégies développées par les éleveurs itinérants et les agriculteurs ou éleveurs sédentaires pour l'exploitation d'un produit comme la gomme arabique.

● L'aménagement

Le contexte socio-économique dans lequel la gestion des formations forestières s'inscrit a rapidement évolué durant les quinze dernières années et cette évolution se poursuit. Le contexte climatique semble changer aussi. La forêt est de plus en plus considérée comme un pourvoyeur de ressources multiples (l'arbre et ses produits, le parcours, le sol utilisable pour l'agriculture, le gibier, le paysage, etc.) à l'origine de plusieurs filières économiques.

L'analyse des modes actuels de gestion des ressources, leur efficacité et leurs limites, l'identification des points-clé par lesquels de nouvelles régulations seraient nécessaires et enfin les opérations d'inventaire des ressources et les études de la dynamique forestière permettent de négocier et d'élaborer avec les acteurs concernés des règles de gestion et des systèmes de contrôle visant à préserver sur le long terme l'exploitation du patrimoine naturel.

● **Les parcours**

● **L'usage pastoral**

Pasteurs et troupeaux se déplacent dans les milieux naturels à la recherche de pâturages et de points d'eau. Les herbivores exploitent essentiellement la production végétale annuelle, produite par des plantes herbacées (feuilles) ou par des espèces ligneuses (feuilles et fruits). Le terme de pastoralisme désigne les systèmes d'élevage extensif associés à l'usage des pâturages naturels sur de vastes surfaces. Cela recouvre des formes diverses d'élevage, depuis les formes nomades jusqu'aux systèmes avec grande ou petite transhumance. Les formes d'élevage semi-sédentaire et sédentaire qui exploitent largement les espaces naturels communautaires relèvent de l'agropastoralisme. Une partie de l'affouragement provient alors de l'agriculture. Certaines de ces formes d'exploitation sont très anciennes et étroitement associées à des modes de vie particuliers. Elles s'adaptent en permanence à l'évolution du contexte. Elles ont ainsi la capacité de perdurer, en particulier dans les milieux les plus ingrats où d'autres formes d'utilisation du milieu ne sont pas envisageables. Le pastoralisme est reconnu pour bien valoriser les maigres ressources offertes, et cela de façon particulièrement efficace, tant du point de vue technique qu'économique.

● **Les conditions de durabilité des parcours**

Les parcours ont des caractéristiques communes :

- > la saisonnalité de la production végétale, due aux conditions climatiques (aridité, forts écarts de température) et à la nature des sols (faible fertilité, humidité) ;
- > la brièveté de la période où la valeur alimentaire de la végétation est élevée ;
- > la diversité des végétations et des espèces végétales, présentant pour les animaux des avantages complémentaires.

Pour être viable malgré les contraintes environnementales, le pastoralisme doit bénéficier de certains avantages ou respecter certaines conditions :

- > un espace disponible suffisant ;
- > l'abondance d'espèces fourragères dans la flore ;
- > la mobilité des troupeaux, permettant une grande souplesse de comportements pour pouvoir faire face aux irrégularités climatiques saisonnières ou exceptionnelles ;
- > l'usage de races animales adaptées aux contraintes climatiques et alimentaires.

● **La gestion des parcours**

Les systèmes d'utilisation communautaire des ressources sur parcours sont organisés collectivement et se révèlent complexes car ils résultent à la fois de règles, de jeux de pouvoir, de droits historiques, de nécessités techniques et sont soumis à des rapports sociaux et des liens de parenté. Ils opposent des stratégies d'appropriation et de partage. Le statut des ressources pastorales diffère selon qu'il s'agit du fourrage, de l'espace pâturé, des arbres, des terres cultivées et de l'eau. L'herbe est rarement l'objet d'appropriation. Mais l'accès au point d'eau, clef d'utilisation des pâturages environnants, peut être soumis à des règles contraignantes et contrôlé par des ayant droits.

Les droits sur les ressources peuvent être éphémères (le temps de la consommation), réguliers (cycle saisonnier), ou circonstanciés (lors de situations d'urgence exceptionnelles par exemple). Les ressources pastorales sont indissociables de l'espace, lui-même structuré par les points d'eau et les axes de déplacement. Or cet espace s'avère de plus en plus limité par la colonisation agricole.

Le discours sur la gestion des parcours appartient à l'administration plus qu'aux pasteurs. Ces derniers ont à gérer leur système de production face aux contraintes naturelles et aux risques. Ils sont soumis en particulier au jeu des équilibres naturels et comptent sur la capacité du milieu à supporter les contraintes et à s'adapter aux pressions diverses.

Au niveau d'une région ou d'une zone pastorale, la gestion des parcours s'appuie sur quelques principes simples :

- > maintenir la mobilité des troupeaux, en favorisant ou en protégeant les voies et les moyens de déplacement, en disposant des points d'eau le long des axes de transhumance, en adaptant les dispositifs réglementaires ;
- > protéger l'accès des troupeaux à des ressources clés comme les pâturages de saison sèche et les cures salées ;
- > supprimer des mesures qui maintiennent artificiellement le bétail en surnombre sur les parcours, comme les subventions aux céréales transportées sur les parcours ;
- > aménager des infrastructures permettant une bonne répartition des troupeaux dans l'espace pastoral, comme certains programmes d'hydraulique pastorale conçus dans un plan d'aménagement ;
- > suivre à long terme l'état des ressources.

Certaines conditions préalables doivent être respectées, comme les règlements facilitant les mouvements transfrontaliers de bétail.

● La faune

● L'exploitation de la faune et sa protection

L'utilisation de la ressource faunique se fait sous différentes formes, associées à plusieurs grands types d'activités :

- > la chasse tout d'abord, pratiquée sous forme traditionnelle, commerciale ou sportive (tourisme cynégétique) ;
- > l'élevage et le commerce de faune, avec la vente d'animaux vivants, de produits et sous produits animaux ;
- > l'écotourisme enfin, qui développe toutes les activités liées au tourisme de vision.

Dans la pratique, les formes d'exploitation vont, selon les lieux et les espèces concernées, du prélèvement dans la nature (*cropping*) à l'abattage sélectif d'animaux en surnombre (*culling*), à l'élevage en semi-liberté (*ranching*), puis à l'élevage intensif d'une seule espèce (*farming*) et enfin à l'élevage multi-espèces qui combine élevage de faune et de bétail (cf. chapitre 65).

Protéger ou exploiter la faune ? Ces deux objectifs sont souvent présentés en opposition. Certaines personnes préconisent une intervention humaine minimale. D'autres encouragent l'usage des ressources naturelles.

Suite à la prise de conscience au niveau international des menaces qui pèsent sur la diversité biologique mondiale, concilier la conservation des richesses biologiques avec le développement des populations locales est l'un des enjeux majeurs. La situation économique de bien des pays en développement exige une exploitation rentable de ce patrimoine naturel. L'enjeu actuel est de conjuguer une rentabilité économique à court terme et une exploitation durable des ressources.

La reconnaissance récente de la valeur économique de la faune sauvage est un élément de premier ordre dans l'élaboration d'une stratégie de développement durable. De nombreux projets de «conservation et de développement intégrés» proposent désormais des modes d'exploitation durables de la faune générant des ressources économiques.

● **Une gestion durable**

Les acteurs des filières de la faune sauvage sont :

- > les chasseurs locaux et les ruraux en début de chaîne ;
- > les organisations locales : les aires protégées et parcs nationaux ou régionaux, les entreprises touristiques, les sociétés ou domaines de chasse ;
- > les institutions : administrations, organisations scientifiques, ONG environnementales, institutions internationales comme le CITES, etc.
- > les intermédiaires commerciaux : collecteurs, exportateurs, importateurs, agences de voyage, etc.
- > les commerçants d'animaux vivants, de viande de chasse, de produits accessoires et les consommateurs : touristes, chasseurs sportifs, ménages, etc. en fin de chaîne.

Ressource d'accès libre, la faune sauvage est menacée par la surexploitation dès que la pression et les prélèvements s'accroissent. Sa gestion durable doit impliquer et responsabiliser les différents acteurs de son exploitation. Dans les pays en développement, cela passe par l'appropriation de cette ressource par les populations locales, longtemps écartées du cadre décisionnel. Les règles de gestion, spécifiques à chaque situation, doivent être négociées entre les divers acteurs. Plusieurs expériences de décentralisation ont été tentées.

L'exemple du programme CAMPFIRE

Au Zimbabwe, le programme CAMPFIRE (*Communal Area Management Programme for Indigenous Resources*) donne aux communautés locales un pouvoir de décision sur la gestion de leurs ressources naturelles ainsi que l'opportunité de tirer des bénéfices de leur exploitation. Afin d'associer efficacement les communautés rurales aux modes de gestion, des outils participatifs de suivi de l'état des ressources, qui impliquent la participation d'agents locaux spécialement formés, ont été développés.

● **Les complémentarités et concurrences entre les modes d'utilisation**

Dans la zone intertropicale, une certaine complémentarité d'utilisation des végétations naturelles s'observe selon les zones éco-climatiques : les activités forestières sont importantes en climat humide et les activités d'élevage prennent le pas en zones

sèches. Souvent, les deux types d'exploitation se côtoient ou s'imbriquent à des degrés divers dans les mêmes régions, ce qui est parfois à l'origine de concurrence pour l'espace et de conflits pour l'utilisation des ressources. La gestion sylvo-pastorale d'espaces boisés tente de concilier les intérêts des forestiers et des pasteurs, parfois en opposition mais partiellement aussi à bénéfices réciproques, en établissant des règles d'utilisation négociées.

L'accroissement de la population rurale augmente la pression sur les ressources naturelles. Des concurrences se manifestent et augmentent les occasions de litiges profonds, voire de conflits. Les situations les plus fréquentes opposent des éleveurs et des agriculteurs, mais il faut aussi mentionner les conflits entre forestiers et éleveurs, entre forestiers et agriculteurs, entre gestionnaires de parcs et de réserves et éleveurs.

Globalement, les tendances actuelles d'évolution des superficies sont les suivantes : les terres consacrées à l'agriculture augmentent, les surfaces forestières diminuent, les surfaces pastorales diminuent. Dans le même temps, les effectifs en bétail augmentent.

DES PRINCIPES DE GESTION DURABLE

● *Des principes généraux*

Les forêts et les espaces pastoraux doivent être gérés de façon viable à long terme, tout comme les sols, les eaux continentales, les milieux aquatiques, les ressources côtières et les autres ressources renouvelables.

Une définition des ressources renouvelables

Les ressources renouvelables sont, parmi les ressources naturelles, celles qui contiennent leur propre mécanisme de renouvellement ou de régénération. L'homme peut les utiliser indéfiniment s'il ne dégrade pas les processus naturels de reconstitution. Cela implique la nécessité d'une exploitation qui ménage ces processus et d'une gestion qui assure le renouvellement naturel des ressources. L'irréversibilité d'une dégradation destructrice doit être évitée. On peut comparer les ressources renouvelables à un capital qui fructifie. Personne ne peut reconstituer ce capital s'il est détruit : le bon usage consiste à exploiter l'usufruit sans altérer le capital.

Gérer une ressource renouvelable, c'est définir et mettre en œuvre des règles fixant et attribuant (cf. chapitre 231) :

- > des droits d'accès à la ressource ;
- > des règles de gestion et leurs modalités d'application ;
- > des droits et des techniques d'exploitation et de valorisation ;
- > des droits d'exclusion ;
- > des droits d'aliénation ou de destruction de la ressource, le cas échéant.

● *Les feux : outils de gestion et d'aménagement*

Le feu est communément présenté comme la cause principale de la déforestation et de la disparition des forêts tropicales.

La réalité est en fait plus complexe comme l'atteste l'exemple de Madagascar : le feu n'est pas une cause de déforestation, il n'est au mieux qu'un outil à cet effet.

Gérer les feux de végétation. L'exemple de Madagascar

En 1994, Madagascar a lancé une réflexion pour élaborer une nouvelle politique de gestion des feux de végétation appelée à remplacer la politique d'interdiction et de répression des feux dont l'inefficacité n'était plus à démontrer. En voici les principales conclusions.

L'expression de pratiques sociales locales diversifiées

L'étude a permis d'établir une typologie des feux : feux de culture itinérante sur brûlis (les *tavy*), feux de défrichement définitif, feux d'écobuage, feux pastoraux (pour régénérer des pâturages ou au contraire pour restreindre l'accès de groupes pastoraux concurrents), feux pour faciliter l'écoulement de l'eau et la mise en eau des rizières, feux pour déclencher l'érosion, feux pour ralentir l'érosion, feux défensifs (pour voir venir les *dahalo*, voleurs de bétail), feux des *dahalo* pour effacer les traces de leur passage, feux miniers pour faire apparaître les lignes de cristallisation, feux de reforestation (pour favoriser *Eucalyptus robusta* au détriment de *Philippia*), feux de dégradation forestière (pour obliger le propriétaire d'une parcelle d'eucalyptus à vendre sa coupe), feux de protestation politique et de désespérance sociale, etc. Dans chaque cas, le feu est mis en œuvre selon une pratique locale codifiée par les règles sociales locales. C'est donc bien un problème à traiter d'abord à cette échelle spatiale.

Un outil polyvalent de gestion et d'aménagement

C'est un moyen parmi d'autres, utilisé dans des contextes variables par les ruraux pour gérer leur espace de vie et leur milieu naturel. Il est avant tout un outil agricole particulièrement économique dans les mains des paysans, spécialement celles des paysans pauvres. C'est un outil de défrichement, de mise en culture, parfois de reboisement. Il est toujours un outil de transformation et de construction des paysages.

La pluralité des feux, image de la diversité locale

Le brûlage est une pratique sociale à la fois locale et diversifiée : selon les lieux, les milieux, les acteurs et les moments, les effets des feux peuvent être différents, voire opposés. Par ailleurs, les évolutions sociales et économiques variées en cours dans les milieux ruraux conduisent à transformer la pratique des feux et à modifier leurs effets au fil des ans. Les problèmes de gestion des feux ne peuvent avoir que des solutions locales.

Gérer les ressources ou gérer les feux ?

Le groupe de travail malgache sur la préparation de la politique de gestion des feux de végétation a conclu que le problème prioritaire était de mettre en place une gestion locale contractuelle des ressources renouvelables par les communautés rurales. Il a proposé que des règles locales de gestion des feux soient mises en place dans le cadre de cette gestion locale contractuelle des ressources.

● **Rénover les modes de gestion locale**

La persistance des processus de dégradation des ressources forestières et pastorales incite à remettre en question les politiques qui ont été menées depuis plusieurs décennies. Ces politiques, évidemment différentes selon les pays considérés, se sont toutes très largement efforcées de contenir, de restreindre, voire de supprimer la coutume comme cadre de gestion des ressources. Cette stratégie s'est appuyée sur des politiques autoritaires fondées sur la toute puissance de l'administration, représentant l'État, et l'exclusion des communautés rurales de la gestion des ressources renouvelables.

● Gestion autoritaire et gestion contractuelle

Le bilan des politiques autoritaires et exclusives de gestion des ressources renouvelables se résume généralement à un divorce entre les populations utilisatrices et l'administration, et à l'opposition du légal et du légitime : ce que les populations considèrent comme légitime (logiques paysannes, règles et pratiques locales) n'est pas légal. Ce que la loi et la réglementation autorisent ne leur apparaît pas légitime. Il en résulte un affaiblissement inégal des instances, des pouvoirs locaux et des règles coutumières et une « flambée » des comportements individualistes traduisant une déstabilisation des systèmes sociaux locaux.

Dans un contexte de faiblesse chronique de l'administration, aggravé par les politiques d'ajustement structurel et de désengagement de l'État, cette contradiction favorise la course à l'exploitation individuelle à court terme des ressources, selon la logique suivante : « *si je n'exploite pas dès aujourd'hui, un autre viendra le faire demain avant moi* ». La gestion autoritaire et exclusive de l'administration génère donc l'accès libre, la course aux ressources et l'amplification exponentielle des dégradations.

Qu'il s'agisse de forêts ou de pâturages, la situation la plus générale est celle d'une complexité combinant une pluralité d'acteurs, une diversité des usages et une multiplicité des droits sur l'accès et l'utilisation des différentes ressources. La grille des maîtrises foncières permet d'analyser cette diversité des droits, des usages et des règles d'accès et d'utilisation des ressources.

Tableau 1. Matrice des maîtrises foncières adaptées à la situation malgache

Modes d'appropriation	Maîtrise indifférencié (chose) droit d'accès	Maîtrise prioritaire (avoir) droit d'accès et d'extraction	Maîtrise spécialisée (possession) droit d'accès, d'extraction et de gestion	Maîtrise exclusive (propriété fonctionnelle) droit d'accès, d'extraction, de gestion et d'exclusion	Maîtrise exclusive et absolue (bien) droit « d'user et de disposer », donc d'aliéner librement
Modes de co-gestion					
PUBLIC Commun à tous		Cueillette des goyaves		Domaine public de l'Etat, forêts classées, aires protégées	Domaine privé de l'Etat
EXTERNE Commun à des groupes		Espaces pastoraux		Zone forestière servant de réserve foncière	
INTERNE / EXTERNE Commun à deux groupes	<i>Baiboho</i> (terrain inondable) utilisé par les pasteurs et les agriculteurs				
INTERNE Commun à un groupe	Tombeau familial	Cueillette à but commercial, pêche des écrevisses	Réseau de pistes de chasse	<i>Kijana</i> (pâturage coutumier lignager)	
PRIVÉ Propre à une personne			Permis d'exploitation forestière	Arbre forestier porteur d'une ruche sauvage, propriété immatriculée en zone rurale	Propriété immatriculée en zone urbaine

Source : à partir de Etienne Le ROY, *Tableau des maîtrises foncières*, in Le ROY, E., KARSENTY, A., BERTRAND, A. ; 1996 ; « La sécurisation foncière en Afrique », Karthala, Paris

Comment gérer, sur un même espace, un grand nombre d'acteurs, d'usages et d'intérêts souvent contradictoires et incompatibles, relevant de représentations fondamentalement différentes de l'espace ? La prise en compte de la pluralité des acteurs et de leurs préoccupations, toutes également légitimes, amène à mettre au premier plan des préoccupations le problème des processus de décision, tant en matière d'aménagement forestier que de gestion pastorale. La gestion, pour être viable à long terme, doit concilier des objectifs divergents. Cela n'est envisageable qu'au terme d'une véritable négociation, bien différente d'une quelconque participation.

Pour que cette négociation aboutisse à un contrat durable, il importe de faire un détour préalable par la définition concertée d'objectifs communs de très long terme. Ceux-ci permettent de construire une vision commune du futur par delà les antagonismes. Cette négociation est dite patrimoniale. Un contrat permet alors de fixer les nouvelles règles de la gestion locale des ressources.

DES POLITIQUES ET DES INSTRUMENTS DE GESTION

● *Les filières forestières et pastorales*

Un certain nombre des filières économiques du secteur forestier comme du secteur pastoral ont une importance économique réelle dans la plupart des pays tropicaux :

- > *les filières d'exportation du bois d'œuvre* en grumes ou en produits transformés dans les pays de la zone tropicale humide assurent une partie importante des ressources fiscales des États du bassin du Congo par exemple ;
- > *les filières bois énergie* (bois de feu et charbon de bois), relevant souvent très largement du secteur informel, représentent dans la majorité des pays en développement des chiffres d'affaires considérables et des revenus pour une part conséquente de la population ;
- > *les filières nationales ou régionales bois d'œuvre* sont importantes et se développent très rapidement en liaison avec l'urbanisation et avec l'apparition de très grandes agglomérations urbaines ;
- > *les filières viande bovine* assurent une part non négligeable des exportations de certains pays de la zone soudano-sahélienne vers les pays du golfe de Guinée ;
- > *les filières périurbaines d'approvisionnement en lait* se développent rapidement avec l'urbanisation et les modifications des habitudes de consommation des populations urbaines.

La gestion économique de ces filières par l'État ne se pratique plus directement par un encadrement étroit et des interventions directes ou à travers des institutions du type caisse de péréquation ou marketing board. En économie de marché, le rôle de l'État est limité à celui d'un arbitre. Il fixe, à travers divers dispositifs, les règles du jeu des acteurs économiques. Cette gestion publique indirecte constitue la meilleure manière de mettre en place une gestion globale des ressources forestières et pastorales et de créer les conditions d'une gestion locale de ces ressources viable à long terme. Si les règles sont fixées de façon à ce que l'ensemble des acteurs économiques «jouent le jeu», bien sûr.

● **Les politiques forestières, pastorales et environnementales**

● **Les codes forestier et foncier**

La mise en place d'une nouvelle politique de gestion des ressources forestières ne peut être achevée par la promulgation d'un code forestier, même si celui-ci est élaboré dans un cadre de concertation décentralisée impliquant toutes les catégories d'acteurs concernés. Pour assurer une gestion viable à long terme des forêts, il faut aussi mettre en place des instances locales capables d'assurer dans un cadre parfaitement défini la gestion quotidienne continue de cette ressource et sa valorisation à travers divers usages.

Il en est de même pour la gestion foncière. La mise en place d'un code foncier ou de nouvelles règles foncières ne peut être qu'une étape dans la définition d'un système de gestion foncière viable à long terme. Le problème n'est pas seulement d'attribuer la terre, mais d'enregistrer sur la durée les mutations foncières et de prévenir et résoudre les inévitables conflits fonciers. À cet effet, des instances locales de gestion foncière semblent plus souples, plus légères et mieux adaptées qu'un système administratif qui devrait se limiter à assurer la gestion globale et à exercer une fonction de recours en cas de conflit foncier durable.

● **Code pastoral ou code rural ?**

Les textes de loi concernant le pastoralisme diffèrent notablement d'un pays à l'autre. Mais peu de pays ont élaboré un code pastoral en tant que tel. Les dispositions concernant la législation foncière sont même souvent défavorables à l'élevage pastoral et à la gestion au niveau local des espaces naturels.

Dans les pays en développement ayant un secteur pastoral important, des systèmes traditionnels de contrôle de la terre existent, mettant en jeu des rapports de force et des accords entre groupes sociaux. Ils sont en général assez inégalitaires. L'une des préoccupations majeures des pasteurs à l'heure actuelle est la garantie de pérennité de l'espace pastoral, notamment face à l'extension des surfaces agricoles. Pour y répondre, plusieurs dispositions doivent se conjuguer :

- > *la sécurisation du statut foncier des espaces communaux* accessibles aux pasteurs et à leurs troupeaux. Les dispositions juridiques à renforcer peuvent éventuellement s'appuyer sur un zonage ;
- > *la protection de la mobilité* grâce à des dispositions réglementaires appropriées et à la mise en place ou l'entretien d'infrastructures comme les couloirs de transhumance ;
- > *l'appui à l'organisation des éleveurs et des professionnels de l'élevage*, assorti de la possibilité de mobiliser des moyens. Les organisations pastorales représentent les pasteurs au cours de l'élaboration de textes législatifs ; elles exercent un lobbying auprès des élus, elles assurent la communication entre pasteurs et autres acteurs économiques ;
- > *la création de cadres de concertation* à tous les niveaux, mais notamment à celui des communautés rurales : les dispositions réglementaires doivent être négociées.

Il importe que les acteurs du pastoralisme soient associés, à travers leurs représentants, aux révisions du cadre législatif concernant le foncier pastoral. Ce cadre doit rester suffisamment large au niveau national pour laisser aux instances décentralisées (en particulier les communes) la possibilité de prendre des décisions négociées et adaptées

à chaque contexte. On doit distinguer le cadre législatif au niveau national et les applications réglementaires au niveau local, établies sur des bases négociées avec les acteurs impliqués.

● **Gérer les ressources : les échelles d'action**

La gestion des ressources prend en compte différents niveaux de sources de droits et d'obligations pour les acteurs. Jusqu'à une période récente, les sources du droit pour la gestion des ressources se limitaient au niveau national et au niveau local. Depuis quelques années, des évolutions importantes ont modifié ce cadre juridique. Des conventions internationales ont inscrit des obligations multiples pour les acteurs et ont restreint parfois très fortement les possibilités d'utilisation ou d'exploitation de diverses ressources : ainsi en est-il par exemple de toutes les espèces végétales ou animales inscrites sur les listes des annexes à la convention CITES sur le commerce des espèces protégées. Les conventions issues ou inspirées de la Conférence de Rio (Convention sur la diversité biologique, Convention cadre sur les changements climatiques, Convention sur la lutte contre la désertification) traitent de problèmes globaux de nature complexe et sont inscrites dans un cadre juridique souple. Elles représentent cependant un cadre juridique nouveau qui s'impose à tous les pays signataires.

Trois préoccupations majeures ont guidé l'élaboration de ces conventions internationales :

- > l'amélioration des conditions de vie et la satisfaction des besoins élémentaires des populations locales ;
- > la participation au développement de l'économie des Etats ;
- > la préservation des grands équilibres naturels de la planète avec, en particulier, la déclinaison des grandes conventions internationales avec passage du niveau planétaire aux niveaux du terroir, de l'unité pastorale ou de la communauté rurale.

Ces enjeux se concrétisent par des objectifs applicables à toute politique forestière, pastorale et environnementale globale que l'on peut synthétiser en :

- > lutte contre la pauvreté par la dynamisation et la pérennisation du développement économique des pays et des communautés rurales locales,
- > protection des ressources naturelles et des fonctions de services des espaces forestiers et pastoraux, au bénéfice de la communauté universelle.

● **Gestion des ressources et décentralisation**

De nombreux pays se sont progressivement ouverts à la démocratie politique et ont mis en place des politiques de décentralisation et de développement régional. L'exploitation des ressources renouvelables revêt une grande importance pour les nouvelles instances créées par la décentralisation. En effet, elle constitue généralement une source facile de revenus pour alimenter le budget des collectivités à travers une fiscalité locale. Le risque existe de voir les instances décentralisées, sous la pression de nécessités budgétaires à court terme, pousser à une certaine surexploitation des ressources renouvelables. Des garde-fou peuvent toutefois être mis en place par les Etats pour assurer une gestion locale à long terme des ressources.

● Gestion économique des filières et gestion locale des ressources

Pour que la gestion locale des ressources soit viable à long terme, deux conditions doivent être réunies :

- > les limites des ressources protégées ne seront respectées que si les systèmes agraires locaux ont la faculté de s'adapter à l'arrêt des défrichements et d'évoluer vers une intensification ;
- > les modes de gestion non durables handicapent ou menacent les modes de gestion viables, car ils sont généralement plus rentables à court terme. Des mesures appropriées doivent donc soit empêcher leur pratique, soit compenser les surcoûts de la gestion viable en taxant les modes de gestion non durables à un niveau tel qu'ils ne soient plus compétitifs.

C'est une des fonctions importante de l'Etat que de mettre en place un cadre réglementaire, institutionnel et fiscal approprié, assurant une meilleure compétitivité des modes locaux de gestion viable des ressources. En économie de marché, il convient pour mettre en place ce cadre global de privilégier les incitations économiques par le biais d'instruments divers, réglementaires et fiscaux, souples et différentiels.

● La gestion locale contractuelle

Depuis une dizaine d'années, quelques expériences de transfert de la gestion des ressources aux communautés locales ont été engagées et apportent aujourd'hui des résultats concluants.

Les marchés ruraux du bois énergie au Niger et au Mali

Depuis 1989 au Niger et depuis 1996 au Mali, l'Etat a défini une nouvelle politique énergétique et une nouvelle politique forestière dans un cadre cohérent de stratégie. L'objectif de cette stratégie pour l'énergie domestique est d'assurer de façon viable à long terme l'approvisionnement des consommateurs urbains en énergie domestique (et principalement en bois énergie, bois de feu ou charbon de bois), le développement économique et la modernisation des filières économiques du bois énergie, et la gestion des ressources forestières produisant le bois énergie. À cet effet, au Niger, comme au Mali, un nouveau cadre réglementaire et fiscal a été mis en place basé sur une fiscalité différentielle selon les modes de gestion des ressources forestières. Des marchés ruraux du bois énergie ont été institués, grâce auxquels l'Etat transfère aux communautés villageoises la gestion des ressources forestières de leur terroir et l'exclusivité du bénéfice de son exploitation. Depuis dix ans, plusieurs centaines de marchés ruraux ont ainsi été mis en place sur la base du volontariat des populations rurales. La création du marché rural concrétise l'aboutissement d'un processus contractuel définissant les règles de la nouvelle gestion forestière locale : plan d'aménagement forestier villageois et quota annuel d'exploitation.

La GELOSE à Madagascar

À Madagascar, une loi a lancé officiellement en 1996 une nouvelle politique à l'échelle du pays, qui vise à assurer une gestion viable à long terme des ressources renouvelables par les communautés rurales en liaison avec les communes mises en place par la décentralisation.

La gestion locale sécurisée des ressources renouvelables et du foncier (GELOSE) repose sur l'instauration de contrats de transfert de gestion des ressources aux communautés, simultanément à la mise en place d'une sécurisation foncière relative des occupations du terroir. Le passage d'une approche « participative » du développement à une méthode « contractuelle », pluraliste et subsidiaire, représente une mutation fondamentale, facilitée par l'intervention de « médiateurs environnementaux ». Celle-ci ne se traduira cependant que progressivement dans les comportements et les mentalités.

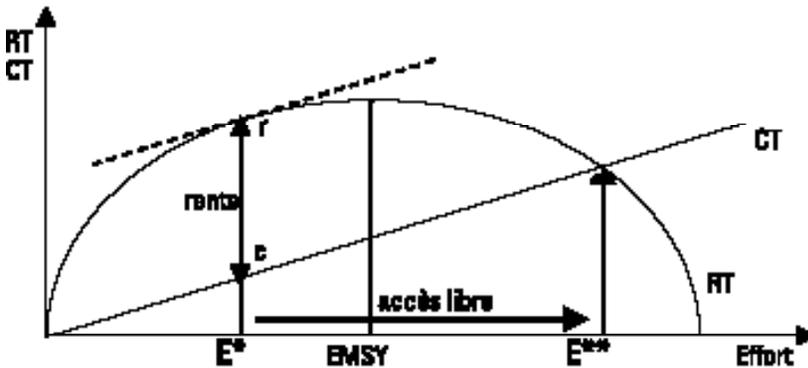
Un nombre encore limité (quelques dizaines) de contrats GELOSE a été jusqu'à présent conclu, mais la gestion locale des ressources répond manifestement (comme au Mali et au Niger) à une attente des populations rurales.

● La gestion économique des filières

La gestion viable des ressources n'est pas une fin en soi ; elle doit résulter d'une gestion économique performante des filières. Cette gestion vise donc à assurer simultanément une contribution accrue des ressources renouvelables au développement économique et à la lutte contre la pauvreté et leur gestion viable à long terme, au niveau global et au niveau local.

● Les outils et instruments de la gestion durable des filières

La mise en place des outils ou instruments de gestion économique des filières vise à supprimer la possibilité d'une surexploitation économique ou biologique des ressources.



Surexploitation économique : $E^{} > E^*$**

Surexploitation biologique : $E^{} > EMSY$**

Il faut ramener E en dessous de $EMSY$ pour assurer la viabilité à long terme de la ressource.

► Figure 1 Modèle bioéconomique : accès libre et surexploitation

Les instruments utilisables peuvent être institutionnels, réglementaires, économiques ou fiscaux. Ils visent à mettre en place un cadre cohérent d'incitations combinées, positives ou négatives, motivant économiquement les acteurs des filières concernées à adopter des pratiques compatibles avec une gestion viable à long terme des ressources considérées.

Les principaux instruments disponibles, à combiner de façon adaptée dans chaque cas, sont :

- > le quota, qui peut être global ou attribué individuellement à divers types ou groupes d'acteurs. Les quotas individuels sont généralement transférables et vendus sur un marché ;
- > la licence (ou autorisation administrative à exercer une activité), dont l'institution constitue une barrière limitant l'arrivée de nouveaux opérateurs ; elle protège les opérateurs en place en diminuant la concurrence ;
- > les règles administratives, qui établissent des contraintes d'exploitation (période de collecte autorisée, zones autorisées ou interdites, techniques autorisées ou prohibées, etc.) ;
- > les taxes ou subventions, qui peuvent être fixes et globales ou différentielles. Les conditions de leur perception, leur assiette, leur taux, leur niveau d'application, etc. influent fortement sur leurs effets sur la gestion des ressources, comme les dispositions d'affectation, de répartition et d'utilisation des revenus qu'elles procurent.

Ces différents instruments sont généralement combinés. Un instrument (quota par exemple) peut produire des effets différents selon l'endroit de la filière où il est appliqué, en fonction des acteurs concernés. Des combinaisons d'outils différents peuvent entraîner des conséquences imprévues ou avoir des effets pervers. Le processus d'élaboration et de mise en place de ces instruments économiques de gestion doit minimiser ces risques.

● Concertation et cadre réglementaire

Pour minimiser ces risques, il est souvent indispensable d'inscrire l'élaboration des nouvelles règles instituant des instruments de gestion dans le cadre d'une concertation ou d'une négociation interprofessionnelle à l'échelle de la filière. C'est une fois que ce cadre global institutionnel, réglementaire et fiscal est en place que la gestion contractuelle locale peut être mise en pratique de manière souple.

Bibliographie

- BABIN D. et al., 2002, «Gérer à plusieurs les ressources renouvelables. Subsidiarité et médiation patrimoniale par récurrence», in CORNIER-SALEM M.Ch et al. eds, 2002, *Patrimonialiser la nature tropicale*, IRD éditions, pp 79-100.
- BERTRAND A., 1998, « L'exemple des marchés ruraux de bois-énergie au Niger», in LE ROY E., BERTRAND A., KARSENTY A., *La sécurisation foncière en Afrique*, Paris, Karthala.
- BOURGEOU A. (éd.), 1999. *Horizons nomades en Afrique sahélienne : sociétés, développement et démocratie*. Karthala, Paris, 491 p.
- BUTTOUD G., 1995, *La forêt et l'Etat en Afrique sèche et à Madagascar : changer les politiques forestières*, Paris, Karthala, 247 p.
- CHARDONNET P. (ed.), 1996. *Faune sauvage africaine : la ressource oubliée*. IGF/ CIRAD-EMVT, tome 1 : 1416 p., tome 2: 288 p.
- DAGET P., GODRON M., 1995. *Pastoralisme : troupeaux, espaces, sociétés*. Hatier, AUPELF, UREF, 509 p.
- D'HERBÈS J.M., AMOBOUTA J.M.K. PELTIER R., (eds.). *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris
- FAO, 1999. *Agroforestry parkland in Sub-Saharan Africa*. FAO Conservation guide n° 34, 250 p.

Les aménagements hydrauliques et les périmètres irrigués

À partir d'une contribution de C. Castellonet (GRET)

L'irrigation est souvent vue comme la solution la plus évidente pour augmenter et sécuriser la production agricole dans les zones de climat aride, semi-aride, ou même dans les zones mieux arrosées, mais où la variabilité des précipitations fait courir des risques aux producteurs. En zone de forte densité de population, l'irrigation permet souvent de réaliser deux, voire trois cultures par an, là où une seule était permise par les pluies. En zone désertique, l'irrigation est évidemment la seule solution permettant de garantir une production agricole régulière et de maintenir des populations sédentaires (systèmes oasiens).

Pourtant, d'après la FAO, la surface de terres irriguées abandonnées chaque année par suite de la dégradation des réseaux ou de la perte de fertilité des sols (du fait de la salinité notamment) est égale à celle des périmètres nouvellement aménagés. Il ne faut jamais oublier que l'irrigation demande des investissements lourds en terme de capital. Elle demande un travail important supplémentaire aux paysans, coûte cher en termes d'intrants monétaires et d'entretien, et risque d'entrer en concurrence avec d'autres utilisations des ressources naturelles au niveau des terroirs concernés. Le choix d'aménager un périmètre irrigué est donc lourd de conséquences et ne doit pas être pris à la légère. La participation des futurs usagers est évidemment essentielle à tous les stades, depuis la conception jusqu'à la gestion de ce périmètre.

LES DYSFONCTIONNEMENTS

Quels symptômes observe-t-on sur un périmètre irrigué qui ne fonctionne pas bien ? Ils sont très nombreux. Nous en citerons seulement quelques uns :

- > toutes les surfaces ne sont pas mises en valeur au cours d'une même saison ;
- > seul un petit groupe d'usager souhaite pratiquer l'irrigation dans une saison donnée ;
- > les usagers décident de ne plus cultiver en contre saison, ou en hivernage, contrairement à ce qui était prévu initialement ;
- > ils préfèrent réaliser des cultures maraîchères, sur des surfaces plus petites, mais ne veulent plus irriguer les cultures vivrières ;
- > les rendements sont variables et en moyenne inférieurs au potentiel ;
- > les disputes entre usagers pour l'utilisation de l'eau sont fréquentes ;

- > l'entretien des canaux n'est pas assuré, d'où des pertes importantes (brèches, infiltrations) et le fait que l'eau n'arrive pas en bout de canal ;
- > les redevances ne sont pas payées, ou très partiellement, d'où un entretien insuffisant, et dans le cas du pompage, de nombreuses pannes, un mauvais fonctionnement des pompes, des irrigations insuffisantes ;
- > le tour d'eau n'est pas assuré, ou la durée entre deux tours d'eau devient trop importante en période sèche et chaude, et les cultures souffrent ;
- > les agriculteurs se plaignent de la baisse des rendements ;
- > un conflit oppose les irrigants et d'autres populations vivant sur le même terroir, notamment les éleveurs nomades ou les pêcheurs. Des destructions de clôture sont commises, le bétail divague sur les cultures irriguées, pouvant provoquer des conflits sérieux avec mort d'homme, voire des guerres locales ou régionales.

Il est inutile de s'attaquer seulement aux symptômes si l'on ne connaît pas les causes. Réhabiliter des réseaux dégradés, par exemple, sans garantir l'entretien futur, ou former les responsables des associations d'irrigants à la gestion lorsqu'on constate qu'ils n'arrivent pas à assurer l'entretien des équipements, décider d'exclure les irrigants qui ne payent pas leur redevance sans comprendre leurs motifs et leurs problèmes ne sont que des palliatifs, souvent coûteux et qui n'empêcheront pas le problème de ressurgir après quelques années.

Le diagnostic d'un périmètre irrigué doit notamment répondre aux questions suivantes :

- > les cultures irriguées sont-elles intéressantes économiquement pour les paysans ? Comment s'intègrent-elles dans leurs systèmes de production ? Y a-t-il concurrence avec d'autres productions ou activités au cours du calendrier ?
- > quel est le coût de l'entretien et du fonctionnement du périmètre irrigué ? Combien cela coûte-t-il au paysan, par hectare ou par m³ d'eau d'irrigation ? Combien ce coût représente-t-il par rapport aux rendements moyens attendus des cultures irriguées ? Quelle part de ce coût faut-il payer en argent ou en travail ?
- > y a-t-il risque de dégradation de la fertilité des terres irriguées ? Par quel phénomène : baisse du taux de matière organique, baisse de la fertilité chimique, salinisation, prolifération de certaines adventices ? Y a-t-il des zones affectées par des problèmes de drainage ?
- > y a-t-il conflit entre les irrigants et d'autres usagers du terroir, soit autour du foncier, soit pour d'autres usages ? Quel est le statut des parcelles attribuées aux irrigants ? Les irrigants sont-ils tous propriétaires, ou pratiquent-ils le fermage, le métayage, le prêt des parcelles ? Sont-ils en situation de sécurité foncière ?
- > l'exploitation du périmètre irrigué a-t-elle des conséquences sur la gestion des ressources naturelles au niveau du bassin versant ? Quels usages (agriculture, élevage, production de bois, pêche et chasse) supportait la zone occupée par le périmètre avant son aménagement ?
- > comment les irrigants sont-ils organisés ? Forment-ils des groupes socialement homogènes, avec des règles claires et des dirigeants reconnus et respectés ? Quelle sont leurs relations avec l'Etat et les autorités locales ? Les associations d'irrigants sont-elles légalement reconnues ?

- > qui est le propriétaire du réseau d'irrigation, y a-t-il délégation de gestion à un office public ou aux associations d'usagers, selon quelles modalités ?
- > les règles de distribution de l'eau, de paiement des redevances et d'entretien sont-elles claires, connues par tous, applicables ? Des sanctions sont-elles prévues pour les contrevenants ? Sont elles acceptées, effectivement appliquées, efficaces ?
- > la conception du réseau d'irrigation est-elle satisfaisante : y a-t-il adéquation entre la disponibilité en eau et les besoins ? Les pertes sont-elles excessives ? Y a-t-il une bonne efficacité de l'irrigation ? Les parcelles sont-elles bien nivelées et l'irrigation bien maîtrisée techniquement par les irrigants ?

Seule cette dernière question est souvent posée, par les techniciens comme par les irrigants eux-mêmes, qui trouvent là une explication simple à tous leurs problèmes. Il est plus facile d'accuser la mauvaise conception du périmètre que de reconnaître les problèmes de gestion internes. Evidemment, notre propos n'est pas de minimiser ces questions techniques, qui posent souvent des problèmes, mais de signaler qu'elles ne sont qu'une des causes possibles de mauvais fonctionnement, et rarement les seules.

L'ÉCONOMIE DE L'IRRIGATION

● *L'irrigation dans les systèmes de production*

Rendements supérieurs ne signifie pas nécessairement revenus supérieurs. Tout d'abord, il faut retirer de la production l'équivalent du coût de l'irrigation et des intrants additionnels nécessaires. Par ailleurs, il faut rapporter cette production nette au nombre de jours de travail nécessaires, pour obtenir la productivité du travail, une valeur souvent cruciale en agriculture paysanne.

On doit systématiquement comparer la productivité des cultures irriguées avec celle des cultures pluviales et des autres activités agricoles, tout d'abord sous l'angle de la productivité par jour de travail. On doit ensuite comparer les calendriers culturaux pour détecter les pics de besoin de main d'œuvre qui peuvent rentrer en concurrence. Un rendement élevé des cultures irriguées ne signifie pas forcément un bon revenu pour les paysans. Si le revenu du travail est plus faible que celui des cultures sèches et que la terre n'est pas limitante, l'irrigation ne sera pas une priorité des paysans, et ils risquent de l'abandonner à terme.

La place de l'irrigation dans un système de production paysan au Sahel

Un agriculteur sahélien cultive du mil chandelle extensif en pluvial, sur sols sableux, avec un rendement moyen de 800 kg/ha, et un besoin en travail de 20 jours/ha. Il est capable de cultiver 5 ha par UTH. On a donc une production de 5×800 : 4 000 kg/ UTH, ou 40 kg de mil/jour de travail.

L'irrigation lui permet d'obtenir 5 tonnes de riz par ha en employant le repiquage. Mais il lui faut pour cela acheter des semences certifiées et de l'engrais (équivalent à 600 kg de paddy/ha), et payer une redevance équivalente à 800 kg/ha. Sa production nette est donc de 3,6 tonnes/ha. Cette production nécessite 200 jours de travail par ha (pépinière, labour et mise en boue, repiquage, désherbage et récolte). Il ne peut cultiver que 0,5 ha/UTH. Il peut donc obtenir une production de 1 800 kg de paddy par UTH, 18 kg par jour de travail. Même si le riz a une valeur supérieure au mil, il est nettement moins intéressant que le mil sous l'angle de la productivité moyenne du travail. Il faudrait évidemment prendre en compte l'aspect sécurité découlant de la variabilité des rendements, en comparant également le rendement du mil en mauvaise année (faibles pluies), à celui d'une mauvaise année pour le riz irrigué.

Il faut également prendre en compte la diversité des familles paysannes. Une famille qui n'a pas accès aux terres à mil, et pas d'autres sources de revenus, pourra être très intéressée à investir toute sa main-d'œuvre dans l'irrigation. D'autres familles qui disposent d'une abondance de terres ou d'autres sources de revenus (artisanat, revenus de l'émigration) seront nettement moins intéressées. On observera alors des comportements très divers au sein d'un même périmètre.

En cas de concurrence entre les deux cultures (si leurs calendriers coïncident, par exemple, le semis du mil aux premières pluies rentrant en concurrence pour la main d'œuvre avec la préparation des parcelles de rizière), il y a fort à parier que les agriculteurs donneront la priorité au mil. C'est parfaitement logique d'un point de vue économique, même si cela se traduit par des baisses de rendement du riz. Le résultat risque d'être une culture irriguée tardive, qui empêche une deuxième culture irriguée, mais permet d'optimiser les calendriers de travail.

● **Le coût de l'irrigation**

Le coût de l'irrigation est très variable selon le type d'aménagement. L'irrigation gravitaire (à partir de barrages) nécessite des investissements de départ souvent très élevés. Le coût d'entretien des infrastructures est donc également élevé. En revanche, les frais de fonctionnement sont réduits puisqu'il n'y a pas de pompage. À l'inverse, l'irrigation par pompage entraîne des coûts de fonctionnement élevés, d'autant plus importants que l'eau est profonde. Mais les frais d'aménagements peuvent être réduits, surtout sur les petits périmètres privés. Il est intéressant de calculer le coût de l'irrigation à l'hectare, mais aussi par mètre cube d'eau apportée. Le tableau suivant donne une base de comparaison, qu'il faut actualiser dans chaque situation.

Tableau 1. Coûts de l'irrigation à l'hectare et par mètre cube d'eau apportée (coûts exprimés en euros)

Type d'aménagement	Investissement (par ha)	Coût d'entretien et amortissement (équipements seulement) (par ha et par an)	Autres coûts de fonctionnement (pompage, distribution de l'eau) (par ha et par an)	Coût de l'irrigation hors amortissement de l'aménagement) (par ha et par an)	m ³ / ha/an	Coût en euro par m ³ d'eau apportée
Barrage moyen (Galmi, Niger)	30 000	300	60	360	5 000	0,072
Périmètres villageois par pompage surfleuve (Matam, Sénégal)	1 900	250	60	310	8 000	0,039
Pompage électrique sur forages (10 m) (Girawata Niger)	14 600	370	270	640	15 000	0,043
Pompage sur forage profond (Louma, Sénégal)	79 300	430	150	580	2 400	0,242
Grands périmètres gravitaires (Office du Niger)	7 600	90 (sans amortissement)	50	140	10 000	0,014

On retiendra de ce tableau que le coût de l'irrigation par hectare varie d'un facteur de 1 à 5 selon le type d'aménagement, de 1 à 20 si l'on considère le coût du mètre cube. Cette différence serait réduite si l'on intégrait le coût d'amortissement des grands aménagements, ce que pratiquement aucun gouvernement ne fait, considérant qu'il s'agit d'investissements d'intérêt public.

Le coût réel de l'irrigation se situe rarement en dessous de 300 euros/ha, soit l'équivalent de 2 tonnes de paddy/ha. Ce coût peut être réduit en termes monétaires, si une partie importante de l'entretien des aménagements est réalisée par les irrigants eux-mêmes. On voit bien cependant que l'irrigation ne se justifie économiquement que dans les situations suivantes :

- > elle est absolument indispensable (zones désertiques) pour la survie des populations ;
- > elle permet de réaliser des cultures commerciales à forte valeur ajoutée et marché assuré (maraîchage péri urbain surtout) ;
- > en zone de forte pression démographique, la surface par agriculteur est tellement faible qu'ils sont obligés pour survivre d'intensifier et de produire deux ou trois cultures par an, à haut rendement, avec une très forte intensité de main d'œuvre à l'hectare.

En zone sahélienne, l'intérêt de l'irrigation dépend de sa productivité comparée à celle des cultures pluviales. En général les agriculteurs sont intéressés par de petites surfaces irriguées qui complètent leur système de production et permettent de réduire les risques (facteur de sécurité alimentaire).

Une exception importante semble constituée par l'Office du Niger, où la maîtrise de nouvelles techniques sur les surfaces réhabilitées (semis direct sur parcelles parfaitement planes, contrôle de la lame d'eau) permet de hauts rendements sur des surfaces importantes (4 ha par famille avec 5 t/ha en moyenne).

Il est bien entendu possible et légitime que les gouvernements et bailleurs de fonds décident de subventionner l'irrigation, même si elle n'est pas économiquement viable, pour garantir la sécurité alimentaire des populations ou du pays. Il faut cependant savoir que la poursuite de l'irrigation dépend dans ce cas de celle des subventions.

L'ORGANISATION DES IRRIGANTS

La gestion d'un périmètre irrigué suppose un niveau élevé d'organisation collective pour une série de décisions indispensables.

Les mises en culture et le début de l'irrigation

Quand commence-t-on l'irrigation, pour quelles cultures et sur quelles parties du périmètre ? Souvent la culture de riz en submersion est incompatible avec celle d'autres cultures qui ne tolèrent pas la submersion. Quand peut-on laisser les animaux pâturer les résidus de récoltes ou les jachères ?

La gestion de l'eau

Comment organiser la distribution de l'eau (le tour d'eau) pour éviter que certains gaspillent l'eau alors que d'autres en manquent, et aussi pour éviter que les périodes entre deux irrigations se prolongent exagérément lorsque le climat est plus chaud ? Un tour d'eau où chacun irrigue à volonté sans limite de temps ou de volume aboutit toujours à ce résultat. Il faut aussi contrôler que la main d'eau (le volume auquel chacun a droit) est respectée et que le débit d'eau entrant dans les parcelles est adapté : un débit trop important se traduit par des gaspillages, car l'irrigant n'arrive pas à contrôler la régularité de l'application et à empêcher que l'eau ne déborde en bout de parcelle ; un débit insuffisant risque d'augmenter inutilement le temps nécessaire à l'irrigation ainsi que les pertes dans les canaux.

Les vols d'eau sont fréquents, surtout la nuit. Les irrigants situés en amont (près de la prise ou de la pompe) peuvent facilement détourner l'eau des canaux principaux si les autres irrigants se sont absentés ou si les règles sont floues. Cela peut produire des conflits croissants si des régulations collectives (sanctions, avertissements) ne sont pas mises en place.

QUELQUES ENJEUX ESSENTIELS

● Eviter le gaspillage

Un des objectifs les plus importants du gestionnaire du périmètre est de maximiser la surface irriguée et le nombre de bénéficiaires afin de maximiser le gain de production agricole résultant de l'irrigation.

Si l'on admet (c'est le cas général), que l'on dispose d'un débit maximum fixe imposé par la pompe ou par la ressource, il faut faire en sorte que ce débit soit réparti sur la

plus grande surface possible, tout en couvrant les besoins des plantes aux périodes les plus sèches (chaudes et sans pluie). Pour cela, il faut :

- > minimiser les pertes dans les canaux. C'est le résultat d'un bon entretien. En évitant que tous les canaux ne soient en eau simultanément, on diminue aussi les pertes, c'est l'un des intérêts du tour d'eau ;
- > éviter que les irrigants ne gaspillent l'eau, c'est à dire n'en apportent des quantités bien supérieures aux besoins.

Ce gaspillage est lié à plusieurs facteurs :

- > parcelles mal planées, avec pour conséquence des différences de hauteur d'eau importantes et de très fortes percolations en zones basses ;
- > mauvaise maîtrise des techniques d'irrigation ;
- > recherche d'une économie de temps de travail, aboutissant à envoyer un débit très supérieur à celui qu'une personne seule peut gérer dans la parcelle, ou à laisser l'irrigation *se faire toute seule*, quitte à ce que l'eau en excès se déverse dans le drain ou la parcelle voisine ;
- > tendance à apporter des doses bien supérieures aux besoins (lame d'eau de 20 cm, quand 5 cm suffiraient par exemple), qui augmentent beaucoup les pertes par percolation (en gros, elles sont proportionnelles à la hauteur de la lame d'eau) et prolongent inutilement le tour d'eau. Plus il fait sec, plus l'irrigant a tendance à apporter des quantités (lames d'eau) importantes, au-delà des besoins immédiats de la plante, pour *garantir l'avenir...* et plus il risque effectivement d'attendre le prochain tour d'eau.
- > cultures inadaptées aux sols : décision de tout cultiver en riz, alors que certaines zones du périmètres sont sableuses ou plus hautes, par exemple.

L'idéal serait que chaque irrigant paie sa redevance en fonction du volume d'eau qu'il utilise et non de sa surface, et qu'en contrepartie il irrigue quand il le souhaite (à la demande). C'est malheureusement rarement possible, en dehors des réseaux de canalisation enterrés, fort coûteux à l'investissement.

Les modes de régulation entre les irrigants et l'organisation gestionnaire du périmètre sont très nombreux et varient selon le type de ressource en eau, le type d'organisation et la technicité des irrigants.

La solution généralement retenue est celle d'un «tour d'eau», dans lequel chaque irrigant dispose d'un débit déterminé (la main d'eau, qui correspond à un débit facilement gérable par un homme seul, de l'ordre de 15 litres par seconde sur billons, et 50l/s sur rizières) durant une période déterminée, à intervalle fixe.

Exemple de gestion d'un tour d'eau

Par exemple, si le tour d'eau dure une semaine, et est divisé en périodes de 6 heures, avec une main d'eau de 15 l/s, l'irrigant dispose d'un apport de : $(15 \times 3\,600 / 1\,000) \times 6 = 54 \text{ m}^3/\text{heure} \times 6 \text{ heures} = 324 \text{ m}^3$. Si la parcelle de base est de 4 000 m², cela représente une dose de : $324 / 4\,000 = 0,081 \text{ m}$ ou 81 mm par semaine, équivalent à 11,5 mm/ jours. Si l'efficacité de l'irrigation à la parcelle est de 70 % (irrigation à la raie), cela couvre des besoins maximaux (ETM) de 8 mm/j, donc suffisants en général, sauf dans les mois les plus chauds en climat sahélien. En cas d'augmentation des besoins, on peut soit augmenter les durées d'irrigation journalières en irriguant la nuit, soit diminuer l'intervalle entre deux tours d'eau (si on avait adopté une période «sèche» entre deux tours d'eau).

● **L'entretien des infrastructures et son financement**

C'est évidemment un point essentiel, vu le coût des aménagements et de leur fonctionnement.

L'entretien des périmètres irrigués est souvent problématique : les irrigants ont souvent tendance à payer le minimum requis pour obtenir l'eau (par exemple, les frais de carburant pour les motopompes), mais pas le coût de l'entretien des équipements et du réseau d'irrigation. À court terme, les effets semblent limités : quelques fuites apparaissent sur les canaux, qu'on bouche avec des moyens de fortune. Par suite de l'érosion, certains canaux s'enfoncent au-dessous du niveau des parcelles (mais on peut continuer à irriguer en les barrant avec des barrages temporaires), alors que d'autres se comblent sous l'effet de l'alluvionnement, et débordent de plus en plus fréquemment. Les vannes se cassent, mais on bricole des «bouchages» plus ou moins efficaces. Les pompes ont des pannes de plus en plus fréquentes. Ces petits problèmes ont un effet cumulatif et s'aggravent rapidement. Par suite des pertes d'eau dans les canaux, il faut pomper plus, donc on fait travailler encore plus la pompe en négligeant son entretien, etc. Encore quelques années, et le périmètre est tellement dégradé qu'il coûte moins cher de tout refaire à neuf que d'essayer de le remettre en état. Pourtant, un entretien bien fait coûte beaucoup moins cher que ces réhabilitations périodiques.

Tableau 2. Estimation du coût de l'entretien d'un périmètre irrigué

Type d'investissement	Coût d'entretien annuel en pourcentage du coût initial de l'investissement
<i>Ouvrages en terre : digues, canaux, drains</i>	2 %
<i>Pistes</i>	2 %
<i>Ouvrages bétonnés</i>	1 %
<i>Matériel électro-mécanique</i>	5 %
<i>Équipements mobiles (mécaniques, pompes)</i>	5 %
<i>Canalisations fixes</i>	1 %

Il faut également prévoir la nécessité de renouvellement du matériel, donc réaliser des amortissements (ou «provisions pour renouvellement du matériel»). On considère que les pompes électriques durent en moyenne 10 ans, les équipements de régulation (vannes, régulateurs) 15 ans, les moteurs de motopompes 5 à 10 ans selon l'intensité de leur utilisation.

Estimation du coût d'entretien et de renouvellement d'un périmètre

Pour un périmètre dont le réseau d'irrigation et drainage en terre a coûté 3 000 euros/ha, plus 750 euros/ha pour les ouvrages en béton et 300 euros/ha pour les vannes, et 750 euros/ha de motopompes, on peut donc estimer le coût d'entretien à : $(3\,000 \times 2\%) + (750 \times 1\%) + (300 \times 5\%) + (750 \times 5\%) = 120$ euros/ha. Il faut également rajouter une provision pour renouvellement de $(300/15) + (750/10) = 95$ euros. Au total, le coût d'entretien et de renouvellement représente donc 215 euros/ha/an. Il s'agit d'une estimation, le coût réel peut s'avérer inférieur si les usagers assurent un bon entretien et un contrôle journalier, ou plus élevé en cas contraire.

Il faut que l'organisation responsable du périmètre soit en mesure de calculer une redevance équitable, de dresser la liste exacte des «contribuables», organise les opérations d'entretien collectif (travail communautaire) le cas échéant, et surtout soit en mesure de prélever et gérer les redevances dans la transparence. Les sanctions en cas de non-paiement doivent être clairement établies et appliquées rapidement.

● **La «bonne gouvernance» des périmètres**

Vu la complexité des fonctions à mettre en œuvre pour assurer le bon fonctionnement des périmètres irrigués et le coût élevé de leur aménagement, on a longtemps pensé que seul l'Etat était en mesure de gérer efficacement les périmètres. De nombreux exemples dans des pays et situations très différentes ont montré qu'il n'en était rien. La tendance à la constitution de bureaucraties nombreuses et peu efficaces était générale ; par ailleurs, l'autorité de l'Etat n'empêchait pas les agriculteurs de refuser de coopérer, voire de tricher par tous les moyens possibles, aboutissant à des situations ingérables et des périmètres peu productifs et mal entretenus.

Depuis les années 80, un consensus international s'est établi sur le fait qu'il est souhaitable de déléguer le plus possible de responsabilités aux irrigants eux-même, regroupés en associations d'irrigants. Il existe en effet de nombreux exemples d'associations locales d'usagers capables de gérer de manière satisfaisante des systèmes d'irrigation traditionnels depuis des dizaines d'années, voire des siècles, sans intervention directe de l'Etat.

L'Etat continue cependant à avoir un rôle essentiel de contrôle et d'appui à ces associations (pour faire respecter leurs règles). Il ne suffit pas de transférer les responsabilités aux usagers pour qu'ils règlent miraculeusement tous les problèmes existants. Il faut procéder progressivement, et prendre en compte certains principes observés par les spécialistes des organisations locales gestionnaires de biens communs.

Ainsi, une organisation d'usagers va mieux fonctionner si :

- > elle regroupe des personnes ou familles qui se connaissent bien, partagent la même culture et habitent au même endroit ;
- > ces personnes ont déjà l'habitude de travailler ensemble ;
- > elle est de taille réduite (dix à trente familles qui se connaissent toutes). S'il n'est pas possible de tout gérer à l'échelle d'un groupe réduit, il est souhaitable d'adopter une organisation «à plusieurs étages», les groupes de base (par exemple groupes d'irrigants au niveau d'un canal tertiaire) se regroupent en groupes secondaires (par exemple : groupe de gestion d'un canal secondaire), eux même fédérés à un troisième niveau (association des groupements pour un périmètre), etc. ;
- > les règles d'entrée et de sortie dans un groupe sont clairement définies et font l'objet d'un large consensus, qui sert de base au groupe (règles «constitutionnelles») et ne peut être remis en cause qu'exceptionnellement ;

- > les règles de fonctionnement et de sanction sont débattues en commun et revues périodiquement (règlement intérieur) pour améliorer leur efficacité et s'adapter aux circonstances. En général, des systèmes de sanctions graduelles sont préférables. Une règle n'a de chance d'être respectée que si le nombre de contrevenants reste faible (en dessous de 5 %), et que tout contrevenant court le risque d'une sanction réelle qui lui coûtera plus qu'il n'a retiré de bénéfice de son comportement de désobéissance ;
- > des mécanismes de recours (appel) sont possibles pour les adhérents qui s'estiment injustement pénalisés. Dans certains cas, les associations d'irrigants ont mis en place des «tribunaux de l'eau» indépendants, dont la seule fonction est de départager les plaignants et d'éviter que les conflits ne dégénèrent ;
- > des mécanismes assurant la transparence de la gestion financière et l'information des adhérents de base sont mis en place ;
- > les associations d'usagers sont reconnues par l'Etat et les collectivités locales, et reçoivent l'appui sans faille des services de l'Etat et de la justice. Ceci est tout à fait essentiel. En dernier recours, les associations doivent en effet pouvoir faire appel à l'Etat pour faire appliquer les sanctions les plus graves envers des adhérents récalcitrants, mais aussi pour intervenir en cas de conflit interne insoluble, etc. Ces interventions doivent rester exceptionnelles, mais elles n'en sont pas moins essentielles.

Quand et à quel niveau sanctionner ?

Si on laisse s'installer des situations où plus de 10 % des membres n'appliquent pas une règle sans sanction immédiate, il y a fort à parier que l'année suivante c'est la moitié des membres qui ne respecteront plus la règle ; et que l'année suivante elle sera totalement abandonnée. Si la sanction reste en moyenne moins coûteuse que le bénéfice de la triche, il est probable que les tricheurs vont se multiplier. Par exemple, si en volant l'eau je m'assure d'un rendement additionnel de 500 kg de paddy, mais que je ne risque, en étant pris la main dans le sac, qu'une amende de 50 kg de paddy, je peux trouver rentable de continuer à tricher, tout en jurant que je ne le ferai plus ! En revanche, si je risque de me faire expulser, ou de devoir payer l'équivalent de 800 kg de paddy, je vais hésiter à poursuivre !

● **La question foncière¹**

L'implantation d'un nouveau périmètre se traduit souvent par une situation foncière complexe. Les ayants droits traditionnels acceptent difficilement d'être privés de leurs terres ; d'un autre côté, l'Etat qui réalise les aménagements (ou les ONG dans certains cas) peut difficilement accepter de réaliser ces investissements au profit d'une minorité de familles privilégiées. En dehors de l'injustice sociale, il y aurait un risque fort que les familles en question, incapables de mettre en valeur toutes les terres irriguées, les confient à d'autres en métayage ou fermage. Ces situations aboutissent très souvent à des mises en valeur plutôt extensives, avec de faibles rendements. Ni le métayer, ni le propriétaire n'ont intérêt à optimiser l'utilisation de l'eau d'irrigation et à entretenir correctement les réseaux.

¹ Cf. chapitre 231.

La solution souvent adoptée dans le passé a été la confiscation par l'Etat des terres en question, suivie d'une redistribution égalitaire soit aux populations locales, soit dans le cas des périmètres plus importants également à des migrants qu'on a incités à venir s'installer sur le périmètre. Pour éviter toute revente de terre aboutissant à une nouvelle concentration foncière, et pour maintenir leur contrôle sur les irrigants, les Etats n'ont cependant généralement pas officiellement attribué les terres en question : les irrigants n'ont pas de titre de propriété, tout au plus des titres d'occupation provisoires et non transférables.

Cette situation d'insécurité foncière est dommageable au bon fonctionnement du périmètre. Les usagers, qui n'ont pas de garantie sur leur avenir, ne sont pas intéressés à aménager leurs parcelles, encore moins à assurer le bon entretien du périmètre. Souvent les parcelles sont transférées officieusement à d'autres agriculteurs, ou abandonnées pendant une saison ou plus. Le prélèvement des redevances est rendu difficile en l'absence de registre foncier à jour.

Il est donc souhaitable que l'aménagement des périmètres aille de pair avec des opérations de sécurisation foncière, fournissant aux usagers des titres de propriété ou d'occupation permanente incontestables. Une négociation pour le dédommagement des ayants droits traditionnels expulsés est également souhaitable.

Enfin, lors des opérations de distribution des parcelles, il est souhaitable de faire en sorte que les terres soient attribuées par quartier, afin que les groupes d'irrigants sur le périmètre soient aussi des groupes de voisins au village. Cela facilitera beaucoup la gestion des canaux tertiaires et le fonctionnement de l'association des irrigants, surtout si elle est organisée en plusieurs étages comme suggéré plus haut. Il conviendra d'associer le plus possible les futurs bénéficiaires au choix du mode d'organisation du réseau et de répartition des terres afin d'assurer la distribution la plus satisfaisante.

Quand les sols sont très différents

Si des sols très différents sont observés sur le périmètre, il est possible que les agriculteurs préfèrent l'attribution de plusieurs parcelles situées dans les différents types de sols plutôt que l'attribution d'une parcelle unique. Cela complique le travail de l'ingénieur aménagiste et du topographe, mais cela peut être très bénéfique au fonctionnement du périmètre, en évitant des sentiments de jalousie ou d'injustice dans la distribution des parcelles. Les modes d'irrigation et les cultures pourront ainsi être mieux adaptés aux différents types de sols, en faisant du maraîchage sur les terres les plus sableuses et du riz sur les sols argileux par exemple.

MIEUX CONCEVOIR LES PÉRIMÈTRES

● **Associer les usagers à la conception et à la construction des périmètres**

On a tout intérêt à associer les futurs usagers à l'ensemble des études préalables ainsi qu'à la construction des périmètres irrigués.

Ceci est admis par tous, mais dans la pratique il est rare d'observer que les usagers soient réellement associés aux études techniques ou à la construction du périmètre. Cela complique en effet le travail des ingénieurs, des entreprises de travaux publics, du bailleur de fonds. Et pourtant, nombre de décisions concernant les modules irrigués, la répartition des parcelles en fonction des différents types de sol, l'organisation des tours d'eau, ou même le type d'ouvrages à réaliser concernent en premier lieu les futurs usagers et affectent la *gouvernabilité* du futur périmètre.

On ne peut qu'encourager un dialogue systématique entre les concepteurs, le maître d'ouvrage et les futurs usagers, même s'il entraîne quelques délais et coûts initiaux supplémentaires. Il est d'ailleurs souhaitable d'encourager l'organisation des futurs irrigants (sous forme d'une pré-association au moins) dès cette phase de conception, et de l'associer au contrôle et à la réception des travaux, afin de développer ses capacités de gestion, l'appropriation de l'aménagement par ses usagers, et d'améliorer sa conception socio-technique dans le sens des intérêts des usagers.

● **Envisager les impacts du périmètre et les alternatives**

Avant d'aménager un nouveau périmètre irrigué, il faut évaluer sa viabilité économique et l'intérêt qu'il présente pour les agriculteurs concernés². Cela n'est cependant pas suffisant : il faut également évaluer les autres impacts de ce périmètre sur les groupes humains présents dans la région et leurs activités.

Les impacts sur l'élevage

Les zones aménagées sont souvent situées sur des bas fonds producteurs de fourrage en saison sèche. Il risque donc d'y avoir un impact négatif sur l'élevage, souvent pratiqué par des groupes sociaux non représentés dans les villages sédentaires (éleveurs transhumants). Les accès aux points d'eau sont souvent coupés par les aménagements, d'où une perte d'accès à des pâturages voisins même non insérés dans le périmètre. Les risques de conflits sont importants si les animaux sont en pâturage libre traditionnellement sur le terroir une partie de l'année.

Les impacts sur la pêche

Les cours d'eau voient leur régime modifié par les prélèvements (parfois asséchés en saison sèche) et les barrages peuvent empêcher les migrations des poissons, d'où un impact sur la pêche ; à l'inverse, la pêche peut parfois se développer dans la retenue d'un barrage mis en place.

Les impacts sur l'agriculture en aval

Les modifications du régime des crues et d'étiage peuvent affecter l'agriculture de décrue, voire irriguée, pratiquée en aval de barrages importants.

² Voir plus haut les paragraphes sur l'économie de l'irrigation.

Les lâchers incontrôlés peuvent également détruire des cultures de berge. L'arrêt des crues par les barrages modifie par ailleurs le transport de limons fertilisants par les fleuves, diminuant la fertilité des sols inondés en aval, et risquant de combler les réservoirs de barrage assez rapidement.

Les impacts sur la santé

La présence d'eau stagnante ou peu mobile dans certains canaux utilisés aussi bien pour le bain que pour l'eau de boisson peut se traduire par le développement ou l'aggravation d'endémies dans la région, notamment la bilharziose, la malaria, etc.

Les impacts sur la biodiversité

L'irrigation de vastes surfaces autrefois faiblement exploitées, le drainage de zones basses, les modifications du régime hydrique et de la répartition de la salinité dans le milieu peuvent provoquer des modifications importantes du fonctionnement d'écosystèmes voisins, en particulier dans les zones d'embouchure des fleuves et affecter des espèces protégées, mais aussi le gibier ou les espèces halieutiques d'intérêt économique : poissons marins, crevettes...

Sur certains périmètres irrigués, les effets négatifs indirects l'emportent sur les effets positifs pour les irrigants, même si l'on ne considère que les effets économiques. Trop souvent, on n'étudie que les bénéficiaires directs (les agriculteurs des villages voisins), en oubliant les autres groupes qui risquent d'être affectés.

Une étude sur le delta du Sénégal

Dans une étude sur le delta du Sénégal, on a ainsi observé³ que l'endiguement du Delta a permis le développement de 10 000 ha de périmètres irrigués, et une production additionnelle de 36 000 t de paddy. En revanche, l'arrêt des crues naturelles a occasionné la perte des pâturages de décrue, et une perte considérable pour les éleveurs transhumants (Maures et Peuls) et locaux (le cheptel bovin est passé de 80 000 à 30 000 têtes), la disparition des cultures de décrue traditionnelles, la baisse de la pêche, et l'apparition de conflits entre ethnies pour le contrôle des nouvelles zones irriguées. Le bilan économique global de l'aménagement reste à faire...

L'irrigation n'est pas la seule manière de mieux contrôler l'eau et de lutter contre les aléas climatiques en climat aride ou semi-aride. De nombreuses autres techniques, moins spectaculaires mais aussi souvent moins coûteuses, existent et doivent être envisagées, notamment les aménagements anti-érosifs (diguettes, haies vives), les méthodes de collectes des eaux de ruissellement (zaï, cuvettes en demi lune), les aménagements de bas-fonds, les aménagements des cuvettes de crue et décrue. Ils sont traités dans les chapitres 233 et 236.

³ JAMIN et TOURRAND, *Evolution de l'agriculture et de l'élevage dans une zone de grands aménagements : le delta du fleuve Sénégal*. CIRAD/ISRA 1986.

LES ASPECTS TECHNIQUES D'UN RÉSEAU D'IRRIGATION

● L'efficience de l'irrigation

L'efficience de l'irrigation sur un périmètre est le rapport entre le volume d'eau prélevé ou pompé en tête de réseau, et la quantité effectivement utilisée (évapotranspirée) par les cultures, à laquelle on ajoute les besoins liés au maintien d'une lame d'eau dans le cas du riz.

Exemple de calcul d'efficience de l'irrigation

Si au cours d'une semaine, on pompe en tête de réseau d'un périmètre de 100 ha de maïs un débit de 400 litres/seconde ou 1440 m³/heure pendant 12 heures par jour et 6 jours par semaine, on a apporté au total $1\,440 \times 12 \times 6 = 103\,680$ m³ d'eau, soit 1 036 m³/ha, équivalent à 103,6 mm si la lame d'eau était répartie de manière parfaitement uniforme. Si les besoins de la culture durant cette période sont estimés à 7 mm/jour ou 49 mm/semaine, on a donc une efficience globale de $49/103,6 = 47\%$. Cela signifie que plus de la moitié de l'eau a été perdue entre la tête de réseau et la plante. Ces pertes se produisent soit au cours du transport, soit au champ du fait d'une irrigation mal faite se traduisant par une application irrégulière ou par un excès d'eau qui se perd en percolation profonde. Dans l'ensemble, toute l'eau perdue pour l'irrigation se retrouve soit dans la nappe phréatique après percolation, soit dans les eaux de drainage du périmètre.

Vu le coût élevé de l'eau d'irrigation en général, on doit systématiquement rechercher la meilleure efficience possible de l'irrigation en réduisant les pertes, ce qui permet de réduire le coût de l'eau à l'hectare ou, ce qui revient au même, d'irriguer plus de surface à partir d'une ressource donnée.

● L'efficience de la distribution

Les pertes dans les canaux en terre sont à peu près proportionnelles au *périmètre mouillé*⁴ ainsi qu'à la hauteur de l'eau dans le canal⁵, et dépendent évidemment du type de sol. Elles représentent entre 0,05 m³/jour et par m² de canal (sols très argileux) à 0,5 m³/m² jour en sols sableux. On voit qu'il est préférable d'éviter de sur-dimensionner les canaux et de ne pas les maintenir en eau en permanence si on veut réduire les pertes. Une autre cause fréquente de perte de distribution résulte de la mauvaise coordination des irrigants.

Exemple d'un problème d'organisation

Un certain débit est envoyé dans un secondaire, alors que certains irrigants ne sont pas prêts à irriguer. Comme les prélèvements sont inférieurs au débit fourni, l'excès d'eau va directement dans le réseau de drainage soit par débordement du secondaire, soit en se déversant en bout d'arroseurs dans les drains. Selon les périmètres, l'efficience de la distribution (par canaux en terre) peut varier de 85 % à 50 %. Avec des canaux en béton ou des canalisations, l'efficience est évidemment meilleure, mais le coût d'investissement est également beaucoup plus élevé.

⁴ Approximativement longueur x largeur du canal.

⁵ En réalité, elles sont proportionnelles à la racine de la hauteur d'eau.

● **L'efficience de l'application**

Elle résulte de deux facteurs principaux :

- > l'adéquation de la fréquence et de la dose d'irrigation par rapport aux besoins de la plante;
- > la régularité de l'application.

Si les quantités sont globalement plus importantes que les besoins, l'excédent se perd en percolation profonde ou drainage latéral. Les irrigants ont souvent tendance à apporter des doses excessives, surtout lorsqu'ils manquent d'expérience, en préférant apporter *trop* que *pas assez*. D'autre part, même si la quantité est globalement adaptée, il est préférable de réaliser des irrigations plus fréquentes avec des quantités d'eau inférieures, que l'inverse (une grosse dose espacée dans le temps). Il faut en effet tenir compte de la capacité de rétention de l'eau des sols. La réserve facilement utilisable varie de 4 % à 8 % du volume de sol exploré par les racines.

Exemples de l'efficience du rythme d'irrigation

Pour une culture maraîchère sur sol sableux, à enracinement superficiel (50 cm), l'eau facilement utilisable après irrigation ne représente que : $0,5 \text{ m} \times 4 \% = 20 \text{ mm}$! Si l'ETRM est de 6 mm, il est donc souhaitable d'irriguer tous les 3 jours, en apportant 20 ou 25 mm, selon l'efficience de la répartition de l'eau (voire ci-dessous). Si on apporte au contraire des quantités d'eau supérieures, par exemple 50 mm chaque semaine, il est probable qu'une partie de l'eau apportée percolera en profondeur (en dessous des 50 cm explorés par les racines), et que les plantes souffriront de stress en fin de semaine : la RFU étant épuisée, elles devront explorer la RU, avec des débuts de flétrissement, etc.

À l'inverse, un sorgho sur sol limoneux, avec un système racinaire profond de 1,5 m, disposera d'une RFU de $1\,500 \times 6 \% = 90 \text{ mm}$, lui permettant de «tenir» 15 jours entre deux irrigations.

La régularité de l'application est fonction du nivellement, de l'homogénéité des sols dans les casiers, de la méthode d'irrigation et de la technicité de l'irrigant.

● **Méthodes d'irrigation gravitaire**

Sur une parcelle parfaitement horizontale et au sol peu perméable (casier bien nivelé) on peut atteindre une bonne régularité en établissant une lame d'eau uniforme qui va ensuite s'infiltrer lentement. En revanche, dès que l'on a des dénivelés dans ce casier, l'application devient irrégulière.

Dénivelé et perte d'efficience

Par exemple, un dénivelé de 5 cm entre le point haut et bas du casier se traduira par un besoin en eau supplémentaire d'environ 25 mm pour garantir une lame de 50 mm au point haut, soit une efficience de $50/75 = 66 \%$. Au lieu d'apporter 500 m^3 à l'hectare, on va devoir en apporter 750 !

Si on a des sols plus ou moins perméables au sein d'un casier, les vitesses d'infiltration différentes se traduiront aussi par une irrégularité des apports. Il est souhaitable dans ce cas de subdiviser les casiers, afin que chaque casier soit constitué d'un type de sol homogène. D'ailleurs plus les casiers sont petits, plus il est facile de les niveler.

La taille des casiers est donc un facteur d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation mais augmente le travail des agriculteurs.

L'irrigation à la raie permet aux irrigants de fournir des quantités d'eau à peu près constantes à chaque raie entre deux billons. Cependant, plus la raie est longue, moins on arrive à contrôler la répartition de l'eau entre le début et la fin de la raie (en principe réalisée avec une légère pente), d'où des efficacités souvent assez faibles dans la pratique.

L'irrigation par calants est une variante d'irrigation par ruissellement. Sur une surface plane en pente uniforme, on fait couler une lame d'eau régulière jusqu'à ce que l'ensemble de la planche ait été couverte. Elle est peu pratiquée dans le monde, du fait notamment de son efficacité réduite lorsque les planches ne sont pas parfaitement nivelées.

L'alternative qui consiste à réaliser de petites planches (mini casiers) nivelées, billonnées ou non selon le type de culture, assure une meilleure efficacité de la distribution, au prix d'un travail supérieur de préparation de la parcelle ; elle demande également une présence permanente lors de l'arrosage. Elle est bien adaptée aux paysanneries tropicales.

Les techniques d'aspersion mécanique (asperseurs sous pression) ou manuelles ont une meilleure efficacité de répartition. Leur coût en terme d'investissement (pour l'aspersion sous pression) et de main-d'œuvre (pour l'arrosage manuel) en font cependant des techniques rarement utilisées à grande échelle dans les pays en développement.

Tableau 3. Efficacité des différentes techniques d'irrigation

	Efficacité de l'irrigation à la parcelle	Efficacité globale du périmètre (y compris distribution)		
		Optimale	Moyenne	Mauvaise
Bassins et planches	50 à 80 %	75 %	60 %	30 % (parcelles mal nivelées, canaux mal entretenus)
Billons et sillons	50 à 70 %	65 %	55%	35 % (parcelles mal nivelées, sols sableux)
Aspersion	80 à 90 %	85 %	70 %	50 %
Arrosage à l'arrosoir	80 à 95 %	90 %	80 %	50 % (apports excessifs)
Goutte à goutte	90 à 100 %	95 %	90 %	70 % (mauvais réglage)

D'après CTGREF et FAO.

● **Le drainage et la salinité**

● **Les risques de salinisation**

Beaucoup de périmètres irrigués sont menacés par la salinisation. Le risque de salinisation est d'autant plus élevé que l'on se trouve en climat aride et que les eaux d'irrigation sont salées. Il est donc important de mesurer ce risque et de prendre des mesures afin de le combattre.

Le phénomène de salinisation est lié à la différence qui existe entre les quantités de sel apportées par l'eau d'irrigation, et la quantité exportée par l'eau de drainage. L'évapotranspiration des cultures joue comme mécanisme de concentration du sel dans la solution du sol. À la limite, si on n'apporte que les quantités d'eau strictement nécessitées par la culture (donc si le drainage est nul) pendant plusieurs années en zone aride, on va fatalement aboutir à la salinisation des sols, même si l'eau est faiblement salée au départ. En revanche, en climat plus humide, les pluies d'hivernage vont lessiver une partie du sel accumulé en saison sèche. On arrivera donc à un équilibre de salinisation moyenne du sol.

Calcul du bilan de la salinisation à l'équilibre

Le bilan de la salinisation à l'équilibre se calcule simplement sous la forme suivante:

$$V_i \times S_i = V_d \times S_d,$$

avec V_i = volume d'eau d'irrigation apporté, S_i = taux de sel dans l'eau d'irrigation, V_d = Volume drainé, S_d = concentration de sel dans l'eau de drainage.

Si l'on fait l'hypothèse que l'eau de drainage a la même concentration en sel que la solution du sol, on voit qu'un volume d'eau de drainage (également appelé *fraction lessivante*) représentant 20 % de l'eau apportée par l'irrigation aboutit à maintenir à l'équilibre une concentration en sel cinq fois plus élevée dans les sols que dans l'eau d'irrigation. Il faut donc raisonner les doses d'irrigation en rajoutant une proportion supplémentaire, la fraction lessivante, qui sera d'autant plus élevée que la teneur initiale de l'eau d'irrigation est élevée et que la culture est sensible à la salinité. Encore faut-il avoir un bon système de drainage pour éviter une remontée de la nappe phréatique.

L'équation n'est, en effet, valable que si l'on considère qu'il n'y a pas de remontée d'eau et de sels depuis la nappe phréatique. Or l'expérience montre que sur les grands périmètres irrigués par gravité, cette remontée de la nappe est un phénomène général. Elle se manifeste après quelques années, voire quelques dizaines d'années selon les cas. Lorsque ces nappes sont salées ou sodiques, elles affectent négativement la qualité des sols et provoquent des remontées de sel par évaporation.

Le cas de l'Office du Niger

La nappe est remontée de 20 m en 50 ans, elle affleure actuellement, provoquant des phénomènes d'alcalinisation progressive des sols. Seul un drainage énergétique peut permettre d'éviter la dégradation, puis la perte des sols.

Selon le taux de salinité de l'eau d'irrigation, et la tolérance des cultures au sel, on va donc recommander des apports d'irrigation supplémentaires plus ou moins élevés pour assurer le lessivage des sols.

Tableau 4. Echelle de salinité des sols mesurés par la conductivité électrique (CE) de l'eau

CE à 25°, en micromhos/cm	Utilisation possible de l'eau pour irriguer
CE < 250	Eau peu salée
250 < CE < 750	Eau légèrement salée. Ne convient pas aux plantes très sensibles (haricots par exemple); un léger lessivage est nécessaire pour les autres cultures
750 < CE < 2 250	Eau salée, utilisable seulement sur les cultures tolérantes (sorgho, coton, certaines variétés de riz) avec un fort lessivage
CE > 2 250	Eau très salée, seulement utilisable avec un fort lessivage, sur sols perméables, avec des cultures très tolérantes (palmier dattier en particulier)

Tableau 5. Echelle de salinité des sols par la conductivité électrique (CE) de la solution extraite du sol saturé

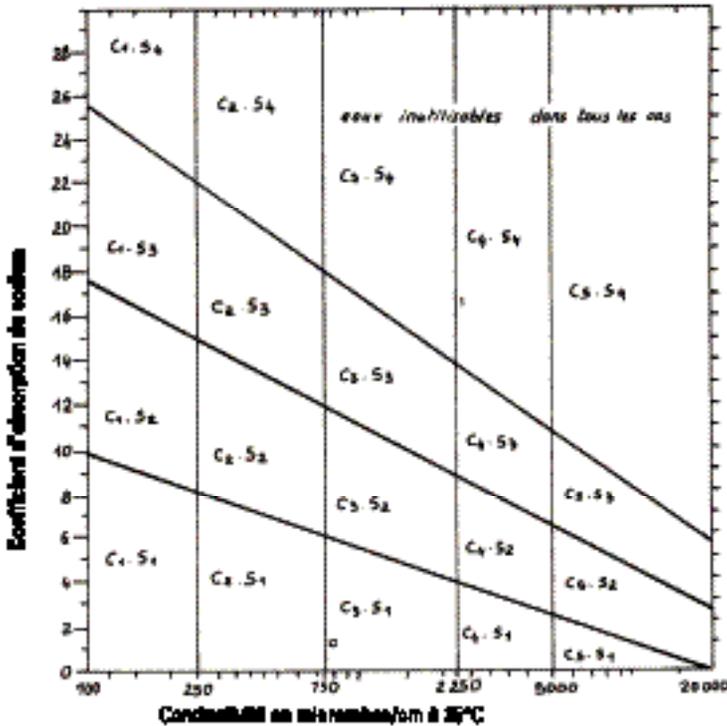
CE < 2000	sol non salin
2000 < CE < 4000	sol peu salin
4000 < CE < 8000	sol salin
CE > 8000	sol très salin

Il n'y a pas que du chlorure de sodium (NaCl) dans les sels dissous dans les eaux. On trouve également des carbonates (Ca⁺⁺), des sels magnésiens (Mg⁺⁺). Lorsque l'ion sodium prédomine par rapport aux autres ions (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺), on a un risque d'alcalinisation et de sodisation des sols par substitution progressive des ions sodium aux autres ions dans la CEC du sol. Les sols sodiques sont mal structurés, difficiles à travailler et à drainer. Pour les récupérer, il faut apporter des amendements calciques, du gypse en particulier.

Le risque d'alcalinisation/sodisation s'estime à partir du rapport d'absorption du sodium SAR dans l'eau : $SAR = Na^+ / ((Ca^{++} + Mg^{++}) / 2)^{1/2}$

Lorsque le SAR est élevé, (à partir de 10), il faut augmenter le drainage, et apporter des amendements organiques, puis calciques lorsque le SAR du sol augmente, sauf sur les sols déjà riches en calcium soluble. Au delà de 26, les risques d'alcalinisation sont élevés.

La qualité des eaux d'irrigation dépend donc à la fois de leur salinité totale, et de leur teneur relative en sodium. Des eaux de salure moyenne, mais à faible SAR, sont considérées comme bonnes pour l'irrigation (moyennant un bon système de drainage), alors que des eaux à fort SAR et salure légère sont considérées comme impropres à l'irrigation sur la plupart des sols non calciques.



► Figure 1 : Salinité et teneur en sodium des eaux d'irrigation

● Les besoins en drainage

Il faut toujours prévoir un système de drainage pour l'évacuation des eaux excédentaires sur un périmètre irrigué. Cependant, le besoin de drainage est particulièrement important dans trois situations :

- > *en climat humide*, le drainage est nécessaire pour évacuer les excès d'eau résultant des précipitations sur des sols déjà humides et pour éviter l'asphyxie des plantes ;
- > *en zones de bas fonds*, le drainage est nécessaire pour rabaisser la nappe phréatique et évacuer les eaux de crue après pluie ;
- > *en zone aride*, le drainage permet de lutter contre la salinisation (voir ci-dessus) en assurant le lessivage des sols, et d'empêcher la remontée de la nappe salée.

Drainage et lutte contre la salinité sont donc étroitement liés en climat aride ou lorsque les eaux d'irrigation sont fortement salées.

Les systèmes de drainage doivent être adaptés aux besoins et aux caractéristiques pédologiques et hydrauliques de chaque périmètre. Un drainage relativement superficiel peut être adapté pour évacuer les pluies en excès dans un climat humide pour le riz, alors qu'un drainage profond sera nécessaire pour lutter contre la remontée de la nappe phréatique dans un autre périmètre.

● Les principales techniques d'irrigation

● Une comparaison

Tableau 6. Avantages et inconvénients des principales techniques d'irrigation de surface

	Irrigation gravitaire (bassins et raies)	Aspersion haute pression (canons)	Aspersion basse pression (rampes ou sprinklers)	Goutte à goutte
Coût d'investissement	Faible en terrain plat	Elevé	Elevé	Elevé
Besoins énergétiques (pompage)	Nul	Elevé	Moyen	Faible
Technicité requise	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée (filtration)
Temps de travail	Elevé	Faible	Moyen	Faible
Efficience de l'irrigation	Faible (50 à 70 %)	Bonne (80-85 %)	Bonne (90 %)	Très bonne (100%)
Coût de l'irrigation (hors travail)	Faible à moyen	Elevé	Moyen à élevé	Elevé
Remarques	Ne convient pas en sols très sableux ni accidentés	Utilisation très souple. Problèmes phyto- sanitaires possibles	Problèmes sanitaires possibles	Convient à des cultures à haute valeur ajoutée, aux eaux salées

Un des éléments qui augmente beaucoup le coût du pompage par aspersion est le coût de l'énergie (électrique ou carburant pour motopompes). Actuellement, l'irrigation par gravité est la mieux adaptée aux besoins et capacités financières des paysans des pays en développement. Si l'énergie leur était accessible à moindre coût (électricité en particulier), de nombreux systèmes d'irrigation alternatifs deviendraient compétitifs, en particulier pour les cultures maraîchères et dans les zones où l'eau est rare.

● Les méthodes de captage des eaux

On peut capter les eaux nécessaires à l'irrigation soit en dérivant les eaux d'un cours d'eau permanent, soit en réalisant un barrage de retenue qui accumule l'eau pendant la saison des pluies et la restitue en saison sèche, soit en pompant dans des cours d'eau ou mares permanentes, dans des puits ouverts ou dans des forages.

Sans entrer dans le détail de ces différentes techniques, notons simplement que la première solution est de loin la plus économique à la fois en coût d'investissement et en coût de fonctionnement. Cela explique sans doute le fait qu'elle est pratiquée de manière traditionnelle par de nombreux paysans, de l'Himalaya au Pérou en passant par le Kenya.

Les barrages représentent des investissements en général coûteux. En revanche leur coût d'entretien et de fonctionnement est relativement faible. Il faut cependant distinguer les grands barrages, très coûteux et ayant souvent des impacts sociaux et environnementaux élevés, et les petits barrages en terre qui peuvent représenter des solutions intéressantes, relativement peu coûteuses, et appropriables par des communautés locales dans certains milieux favorables sur le plan morpho-géologique et

climatique (voir en particulier à ce sujet le succès des petits *açudes* dans le Nordeste brésilien).

Les forages profonds produisent une eau en général beaucoup trop chère pour l'irrigation (coût d'investissement et de pompage élevé). En revanche, l'irrigation sur puits ou puisards, réalisée individuellement avec de petites motopompes essence peu coûteuses, s'est développée spontanément dans de nombreux pays, pour le maraîchage périurbain en particulier. La ressource ne permet en général que d'arroser de petites surfaces (0,1 à 0,2 ha par puit), mais qui sont compatibles avec les capacités des producteurs maraîchers familiaux.

Une variante intéressante est constituée par le pompage sur petits forages tubés manuels, développé notamment au Cambodge et en Inde à plus grande échelle. Ces forages, fort peu coûteux, ne sont utilisables que dans des zones alluvionnaires, où la nappe est peu profonde et avec une forte perméabilité (zones sableuses inondables en bordure de grands fleuves).

Enfin, les périmètre irrigués par pompage sur fleuve sont intermédiaires entre les périmètres gravitaires sous barrage, et les petits périmètres irrigués par pompage individuel sur puits ou mare. Leurs coûts d'aménagements et d'entretien sont moyens. En revanche le coût du pompage est important, du fait du coût de l'énergie et des pompes diesel.

Nous avons fourni quelques éléments de calcul de coût de l'irrigation dans le paragraphe *économie de l'irrigation*. Rappelons seulement que dans la plupart des cas, l'irrigation s'avère une technique relativement coûteuse à l'usage, et qui demande une forte mobilisation des irrigants et de bonnes capacités collectives et individuelles de gestion.

● **Les principes de base des réseaux gravitaires**

La distribution de l'eau dans un périmètre peut obéir à deux principes : distribution à la demande ou distribution successive, par tour d'eau déterminé par avance. La première méthode se heurte à deux obstacles pratiques de taille : tout d'abord, pour garantir que tous les irrigants puissent avoir accès en même temps à l'eau, il faut des installations surdimensionnées par rapport au système de distribution en continu, avec des équipements de régulation nombreux. En second lieu, il faut pouvoir contrôler les quantités prélevées pour éviter le gaspillage et la monopolisation de l'eau par les irrigants les mieux placés. Dans la pratique, c'est possible avec des réseaux de canalisations enterrées avec compteur, avec des systèmes d'arrosage à débit relativement limité.

Le système le plus courant en irrigation gravitaire est donc celui de l'irrigation par tour d'eau. Comme nous l'avons vu plus haut, le tour d'eau est basé sur la fourniture d'un débit en principe constant (la main d'eau) pendant une durée déterminée à chaque irrigant à tour de rôle, avec une périodicité souvent déterminée d'avance (une semaine par exemple).

Le quartier hydraulique est constitué par l'ensemble des parcelles qui se partagent la même main d'eau, transportée par un canal tertiaire (ou quaternaire) dénommé *arroiseur* et géré en général par le groupe de base d'irrigants, ayant leurs parcelles situées dans ce quartier hydraulique.

Le réseau est donc constitué de la tête morte, qui apporte l'eau depuis la prise jusqu'au primaire, sans ouvrage de prélèvement, puis de canaux primaires, secondaires et éventuellement tertiaires, qui répartissent le débit du primaire entre les différents quartiers, afin que chacun dispose de sa main d'eau. Des équipements de régulation (vannes, seuils, déversoirs) sont implantés au niveau des ouvrages de prise qui assurent le passage du primaire au secondaire, du secondaire au tertiaire, etc.

Le réseau d'irrigation est complété par un réseau de drainage, constitué de drains qui recueillent les eaux en excès en bout de réseau (colatures) puis les mènent vers le drain principal, situé au point le plus bas du périmètre.

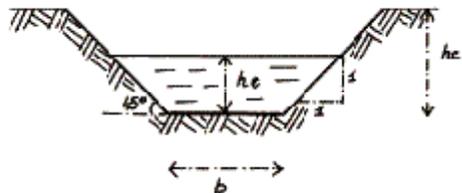
● Le tracé des canaux

Les canaux en terre doivent avoir une légère pente afin que l'eau circule à une vitesse suffisante mais pas trop rapide, pour éviter les phénomènes d'érosion. Pour les canaux en terre peu compactée, et sur sols limoneux de berge, on recommande de ne pas dépasser une vitesse moyenne de 0,4 m/s. En sol argileux bien compacté, on peut se baser sur une vitesse maximum de 0,8 m/s. À l'inverse, une vitesse trop lente risque de favoriser les phénomènes d'alluvionnement (dépôt de limons) pour les eaux chargées en alluvions. À noter cependant qu'il est plus facile de curer un canal qui s'alluvionne, que de reboucher un canal qui subit de l'érosion et s'enfonce dans le sol en se transformant en ravine (cas fréquent sur les périmètres villageois sur berge de fleuve).

Débit prévu	20 l/s				40 l/s				80 l/s				160 l/s			
	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve
0,01 %	0,90	0,49	0,38	0,06	0,60	0,30	0,35	0,12	0,30	0,30	0,45	0,15	1,20	0,48	0,45	0,22
0,1 %	0,30	0,39	0,29	0,20	0,30	0,45	0,30	0,22	0,30	0,30	0,35	0,25	0,30	0,39	0,37	0,37
0,5 %	0,25	0,30	0,14	0,38	0,25	0,31	0,20	0,44	0,40	0,40	0,29	0,49	0,30	0,48	0,30	0,61
1,0 %	0,25	0,30	0,12	0,46	0,25	0,38	0,17	0,66	0,25	0,40	0,29	0,64	0,40	0,48	0,29	0,81
2 %	0,25	0,25	0,08	0,63	0,25	0,30	0,14	0,74	0,25	0,35	0,28	0,68	-	-	-	-

Les cases grisées correspondant aux situations avec risque d'érosion dans le cas de canaux en terre

- b : largeur de fond du canal en mètres (dénommé «plafond»)
- hc : hauteur des cavaliers en mètres
- he : hauteur de l'eau en mètres
- ve : vitesse de l'eau en mètres/seconde



► Figure 2 : Calcul de la forme et la pente des canaux en fonction du débit désiré

On essaye autant que possible d'épouser le niveau du terrain pour éviter les déblais et remblais trop importants. L'idéal est d'avoir des canaux dont le fond est à environ 10 cm en dessous du niveau du sol, et les cavaliers à 30 cm au moins au-dessus, ce qui permet que le niveau d'eau domine le terrain d'au moins 20 cm quand le canal est en charge.

Si la pente du terrain est importante, certains canaux (secondaires en particulier) risquent d'avoir une pente trop importante. Il faut alors prévoir des ouvrages de chute régulièrement espacés pour éviter l'érosion. Ces ouvrages doivent être soigneusement construits et dimensionnés pour éviter l'érosion qui résulte de la chute (affouillements latéraux, etc.)

Les canaux en terre doivent être régulièrement entretenus (chaque année) afin d'éviter leur dégradation progressive par comblement, érosion et tassement des talus qui diminuent leur capacité de transport et augmentent les pertes.

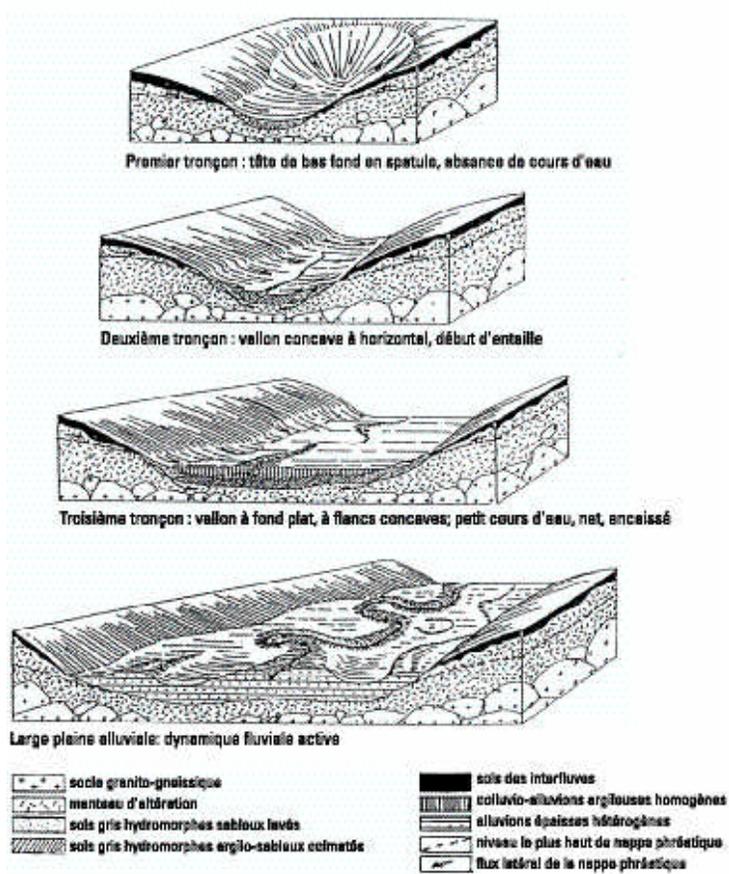
Bibliographie

- ARNAUD L., GAY B., *De l'eau pour le maraîchage*. GRET – Ministère de la Coopération, Paris, 1994
- CASTELLANET C. *L'irrigation villageoise*. coll. «Le point sur les technologies». GRET/Ministère de la Coopération, Paris, 1992.
- DUPRIEZ H. et de LEENER P. *Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage*. CTA / ENDA. L'Harmattan. Paris 1990.
- FAO. *Bulletins FAO d'irrigation et de drainage* - Cahiers techniques de la FAO.
- ORSTROM E., 1997, *Pour des systèmes irrigués auto-gérés et durables : façonner les institutions* (traduction et synthèse de OSTROM E., 1994, *Crafting institutions for self-governing irrigation systems*, ICS Press, Institute for Contemporary studies, 111p.), Inter-réseaux, 35 p. (<http://www.inter-reseaux.org/publications/presentationpub.htm>)
- TIERCELIN J.R. (coord.). *Traité d'irrigation*. Lavoisier. «Techniques et documentation». Paris 1998. 1 011 p.
- VERDIER J. ET MILLO J.-L. *Maintenance des périmètres irrigués*. Coll. «Techniques rurales en Afrique». Ministère de la Coopération, Paris, 1992.

Aménager les bas-fonds : l'exemple de l'Afrique de l'Ouest

À partir d'une contribution de P. Lavigne-Delville (GRET)

Les bas-fonds sont des portions amont des réseaux hydrographiques, dont le lit mineur est peu ou pas marqué. Ils sont submergés une partie de l'année par la concentration des ruissellements de surface et parfois par la remontée des nappes superficielles. Les bas-fonds représentent 2 à 5 % du paysage ouest-africain. Ce sont des lieux où, en fonction des conditions agro-climatiques, une culture intensive permanente, parfois avec double culture, est possible.



► Figure 1 : Différenciations d'amont en aval (Raunet 1985)

En Afrique de l'Ouest, les bas-fonds ont longtemps été peu ou pas cultivés, à l'exception de certaines zones, péri-urbaines notamment. Ils sont aujourd'hui davantage mis en valeur, grâce à des aménagements de maîtrise partielle de l'eau qui peuvent permettre de lever certaines contraintes hydriques et d'accroître leur productivité. Ils sont alors souvent cultivés en riz ou en maraîchage et procurent des revenus importants. Mais il est toutefois important de rappeler plusieurs points.

- > *L'aménagement est un moyen au service d'objectifs de production des paysans.* Ce n'est pas l'aménagement qui crée l'intensification, ou l'intérêt économique ; un aménagement ne sera valorisé que là où les conditions économiques le justifient, et où il a un impact technique réel ;
- > *aménager n'est pas nécessairement la meilleure façon de lever les contraintes.* En zone soudanienne, une intensification culturale peut augmenter significativement la productivité des bas-fonds, même sans aménagement ; face aux contraintes d'enherbement, un herbicide de prélevée peut être aussi efficace qu'un ouvrage visant à maintenir une lame d'eau. Avant de décider d'aménager, il faut vérifier d'abord l'opportunité d'un aménagement et ensuite sa faisabilité ;
- > *aménager n'est pas toujours la panacée.* Les impacts des aménagements sont souvent moins importants qu'on ne le croit : parfois on sous-estime les rendements pré-aménagements ou on surestime la part des contraintes hydrauliques dans les performances pré-aménagement ; parfois on aménage des bas-fonds qui ne sont pas aménageables ; parfois on fait des choix inadaptés. Il faut mesurer les risques, ne pas sous-estimer le coût d'opportunité de l'aménagement (qu'est-ce qu'on perd ?) et rester prudent.

Les bas-fonds ont un fonctionnement hydrologique complexe, combinant nappes, ruissellement, crues. Aménager les bas-fonds, c'est proposer aux paysans qui le souhaitent des aménagements, peu coûteux, mais efficaces et simples à gérer, permettant de modifier partiellement les flux hydriques afin de résoudre les principales contraintes qu'ils rencontrent dans leurs modes d'exploitation du bas-fond. Sauf en zones humides, avec écoulement permanent, un aménagement de bas-fonds relève d'une logique de maîtrise partielle de l'eau. Un certain nombre de grands modèles techniques existent, qui permettent de résoudre, de façon plus ou moins satisfaisante, les contraintes identifiées. Ils ont chacun des domaines de validité, et doivent être adaptés à chaque cas de figure.

Chaque bas-fond est en effet en partie spécifique et certains bas-fonds ne sont pas aménageables. Le travail de l'aménagiste et du projet de développement consiste à élaborer, avec les paysans, un aménagement adapté, qui soit techniquement efficace pour lever les contraintes, et qu'ils soient à même de gérer. Cela demande de faire le lien entre :

- > des demandes paysannes, plus ou moins explicites au départ. Une partie du diagnostic initial vise à les préciser : est-ce pour sécuriser une production de riz, pour intensifier dans une logique commerciale, pour abreuver le bétail, pour faire du maraîchage de saison sèche ?
- > une compréhension du fonctionnement hydrique du bas-fond ;
- > une connaissance des modèles techniques disponibles et de leur domaine de validité.

La décision d'aménager résulte d'un compromis entre coût, technicité, impact prévisible et incertitudes, dans un contexte économique et social donné. À partir du moment où elle engage les paysans, cette décision doit être élaborée en commun avec eux. Cela suppose que la démarche de préparation leur ait permis de maîtriser les tenants et aboutissants du projet : raisons des choix techniques, effets positifs et négatifs prévisibles, coûts et risques.

Les contextes sont très différents d'une région agroclimatique à une autre et les référentiels techniques n'ont qu'une validité régionale. En outre, les démarches d'intervention et les modèles techniques évoluent rapidement. Il est donc important de se renseigner sur les expériences dans la région : là où un nombre significatif d'expériences existe, comme en Afrique soudano-sahélienne, des outils de diagnostic rapide et d'aide à la décision fondés sur des paramètres précis ont été élaborés. Ailleurs, une analyse préalable plus fine sera nécessaire pour éviter les paris hasardeux.

Ce texte traite surtout de l'Afrique de l'Ouest. Pour d'autres régions, la grille d'analyse des bas-fonds sera un outil, mais les modèles techniques seront parfois largement différents. Outre les différences de milieu, les savoir-faire locaux en matière de maîtrise de l'eau sont un paramètre important : en Asie du Sud-Est, à Madagascar, rares sont les cas où l'intervention de spécialistes du génie rural est nécessaire.

Cet article s'adresse à des agronomes ou agents de développement concernés par les aménagements, mais il ne rentre pas dans le détail des questions de génie rural qui relèvent de spécialistes. Des manuels, ouvrages et cédéroms récents font le point sur ces questions et proposent un état de l'art technique et méthodologique. L'ÉTSHER et l'EIER à Ouagadougou travaillent aussi sur ces questions.

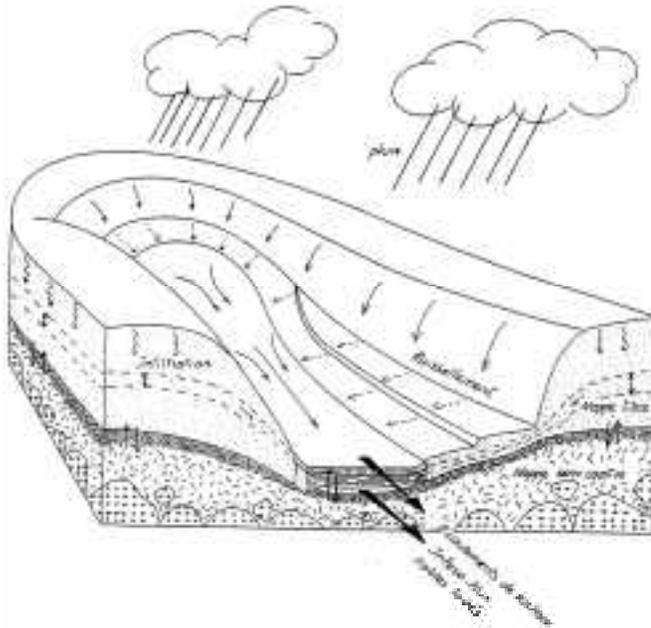
AMÉNAGER : ÉTAPES ET DÉMARCHE

● *Modifier les flux hydriques*

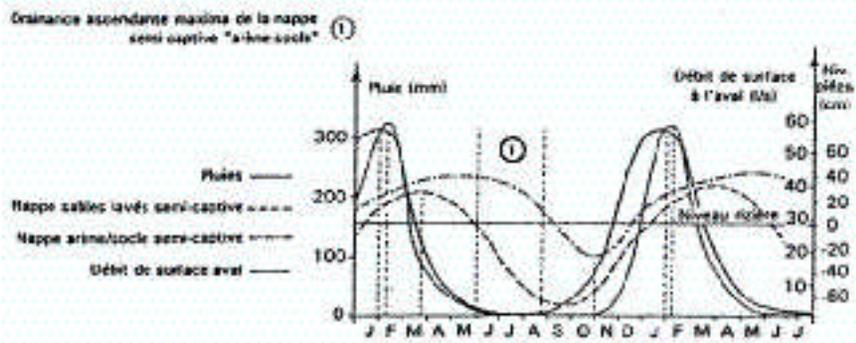
Pour les paysans, l'objectif d'un aménagement est économique : réduire ou contrôler les risques liés à l'eau, accroître la productivité du travail. Pour atteindre ces objectifs, l'aménagement doit modifier la forme et la dynamique des flux hydriques au niveau d'une section de bas-fond cultivé, voire à celui de la parcelle ou d'un ensemble de parcelles. Les types de risques et leur ampleur dépendent du type de production, de la zone agroclimatique et de la saison. Au sein d'une même région, ils dépendent de la configuration particulière du bas-fond concerné.

L'alimentation en eau du bas-fond est multiple : pluie, ruissellements de surface, fluctuations des nappes phréatiques. Les écoulements y sont à la fois superficiels et souterrains. Le fonctionnement hydrologique du bas-fond est donc complexe. Les nappes, superficielles ou d'altérites, répondent avec un certain retard aux épisodes pluvieux.

Les écoulements permanents sont rares en dessous de 1 500 mm de pluviosité. Le lit mineur, lorsqu'il existe, est en relation avec la nappe superficielle en hivernage, les écoulements de surface qu'il concentre contribuent en général à recharger la nappe. Inversement, il sert parfois de drain en fin de saison des pluies, et contribue alors à vidanger la nappe superficielle.



► Figure 2 : Fonctionnement hydrologique d'un bas-fond (Legoupil et al, 2001)

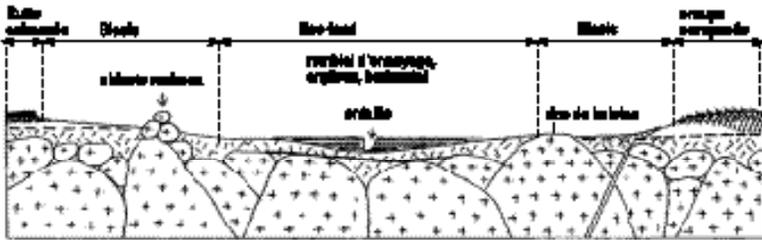


► Figure 3 : Dynamique des nappes à Ambohitrakoho (Raunet, 1993)

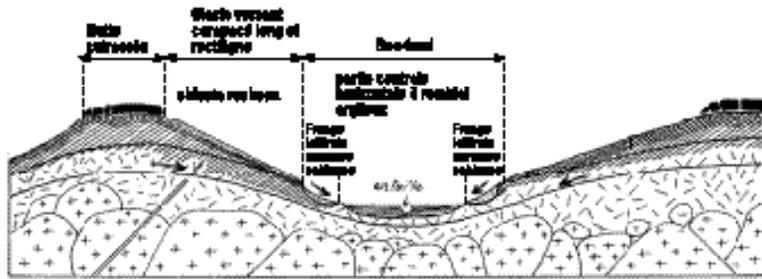
Par un aménagement, on peut intervenir :

- > sur la forme des crues : épandage par submersion d'un seuil ou à travers des digues filtrantes, vidange accélérée, etc ;
- > sur le stockage en surface : en amont d'un ouvrage ou à la parcelle grâce au casilage ;
- > sur la dynamique de la nappe : accroître l'infiltration, réduire sa descente en fin de saison des pluies par des barrages souterrains ou en bloquant le lit mineur ; drainer pour rabattre la nappe.

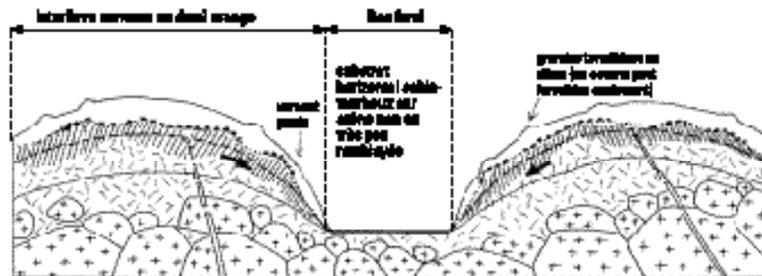
La morphologie des bas-fonds et leur hydrologie sont très différentes selon les zones agro-écologiques et le substrat géologique, ce qui entraîne des types d'aménagements différents. Au sein de ces grands types régionaux, la morphologie de chaque bas-fond doit être identifiée pour ajuster les choix techniques.



Bas-fond des régions vaudou-ambiliens (0,5 < P < 1 mm)



Bas-fond des régions côtières et hautes-plateaux (1 mm < P < 1.4 mm)

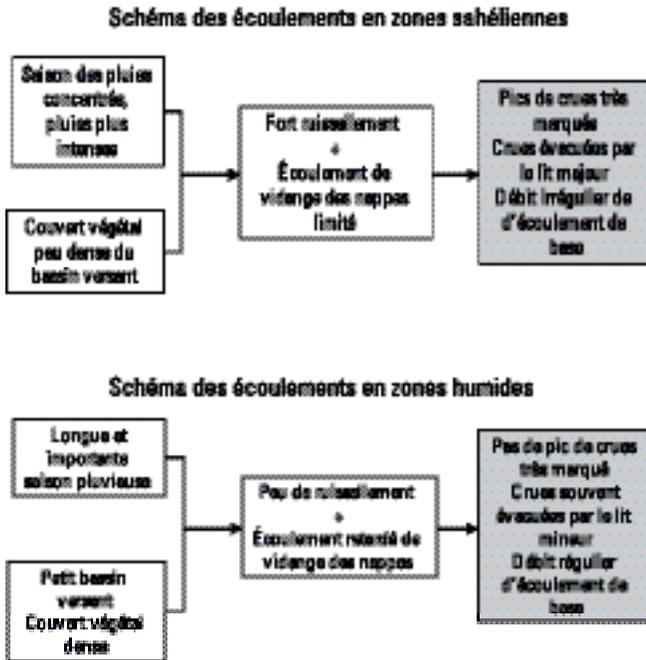


Bas-fond des régions hautes (P > 1.4 mm)

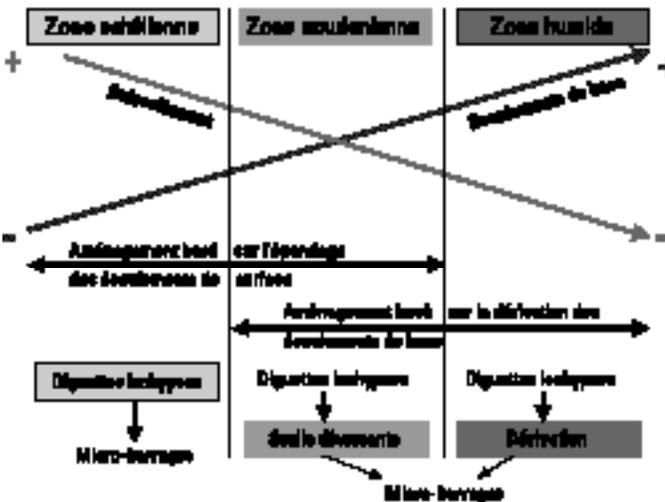
LEGENDE Interpretative

- Sables grossiers granitiques ou andésites, à flancs des pentes non abîmés.
- Argiles argilo-sables-rouges ou brunes granitiques, principal réservoir capillaire généralement inutilisé au passage par le réseau phréatique.
- Argiles argilo-sables-rouges ou brunes granitiques, à porosité non saturée en zones de fluctuation et de circulation latérale de la nappe phréatique.
- Calcaires éocènes (latérites indurées), constitués par des fluctuations de la nappe phréatique ou un abaissement relatif de l'altitude plus ou moins.
- Calcaires ferrugineux (latérites ou porosités), phréatiques ou argilo-sables ou argiles ou sont les latérites situées au sud ou au nord.
- Nappe de graviers (Panses de P) siliceuse ou résineuse ou ferrugineuse, utilisée au forage, mais généralement inutilisée à la suite de topographies.
- Matériau de remplissage de la "basse" argilo-sables-rouges, utilisé pour, ou en l'absence, d'espaces réservés (Panses de P) résineux à des sites forageurs, principalement réservés à l'approvisionnement par les forages.
- Matériau de remplissage (sable) ou argilo-sables-rouges à l'ouest, résineux de la dégradation de la nappe et de la conservation de la pluviale par l'effet des fluctuations et de circulation latérale de la nappe phréatique.
- Matériau granitico-argilo-sables-rouges ou brunes granitiques, généralement résineux de la dégradation argilo-sables-rouges de la porosité latérale de ces points par des fluctuations topographiques, les autres des résines de la forage.
- Matériau "siliceux" basés sur les 20 à 40 ans d'approvisionnement, local et résineux de la dégradation de l'argile granitico-argilo-sables-rouges ou brunes granitiques ou sont utilisés sous-terrain ou plans (basse granitiques). Résineux à une dégradation latérale de la forage.
- Argiles argilo-sables-rouges ou brunes granitiques à l'altitude variable ou sont de l'argile argilo-sables-rouges ou brunes granitiques, résineux et latérites qui sont très résineux ou sont la nappe phréatique sur le bas-fond.
- Parallèlement argilo-sables-rouges ou brunes granitiques, à l'altitude, à l'altitude, à l'altitude, à l'altitude.
- Niveau résineux, non saturé: le plateau, occasionnel ou argilo-sables-rouges.
- Nappe phréatique d'altitude à son niveau le plus bas (latérites).
- Nappe phréatique d'altitude à son niveau le plus haut.
- Niveau résineux de la nappe phréatique ou sont les plans.

➤ Figure 4 : Différents types de bas-fonds (Raunet, 1985)



➤ Figure 5 : Ecoulements selon les zones agro-climatiques (Legoupil)



➤ Figure 6 : Zones agro-climatiques et grands types d'aménagement (Legoupil)

● **Aménager en réponse à des demandes définies**

Un aménagement adapté n'est pas celui qui valorise au mieux les «potentialités» d'un site ; c'est celui qui permet aux paysans de produire davantage, ou à un moindre coût, et d'améliorer leurs conditions de vie en fonction de leurs priorités. En milieu paysan, le travail de l'aménagiste consiste à proposer, à partir d'une demande précise, la ou les solutions techniques qui permettent d'y répondre, à en préciser les coûts et les impacts prévisibles, éventuellement à proposer des alternatives si le bas-fond en question se révèle impossible à aménager.

Travailler avec le ou les demandeurs pour préciser les contraintes rencontrées, les finalités souhaitées pour un éventuel aménagement, les alternatives possibles, représente un travail à part entière. De plus en plus souvent, ce travail est confié à des équipes spécifiques d'appui à la maîtrise d'ouvrage locale, disposant d'un savoir-faire d'animation et ayant le temps d'accompagner la progression de la réflexion avant de mobiliser, si besoin, des spécialistes du génie rural pour les études techniques et la réalisation. Cette division du travail permet de donner aux spécialistes du génie rural un cahier des charges clair et évite de tomber sur une solution technique standard, qui ne correspond pas nécessairement aux attentes des paysans. Elle permet également une meilleure qualité du travail.

Quand y a-t-il besoin de spécialistes du génie rural ?

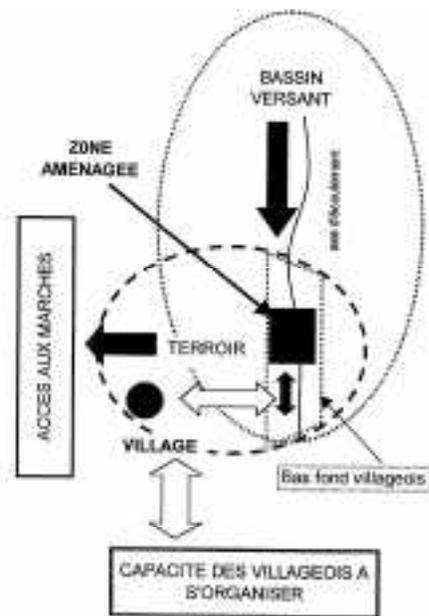
En zones humides, l'aménagement est essentiellement en terre, il se dimensionne qualitativement, il s'ajuste d'année en année. Une bonne connaissance qualitative du fonctionnement hydrologique du bas-fond à partir de questions clés, un peu de topographie, une implantation sommaire, suffisent souvent. Là où les paysans disposent de savoir-faire hydrauliques, ils aménagent sans levé topographique. Un spécialiste du génie rural aura tendance à proposer des ouvrages en dur, pas toujours nécessaires, ou à réaliser des études de crues, inutiles et peu fiables dans ce contexte. L'application de modèles de maîtrise totale de l'eau risque même d'aboutir à des échecs graves.

En zones plus sèches, où les crues sont fortes, un dimensionnement plus complexe est indispensable. Les ouvrages importants, en béton ou en pierres sèches, doivent respecter des normes strictes pour résister aux crues. Le recours à des spécialistes pour des études techniques et le chantier est indispensable.

● **Identifier les stratégies et les contraintes hydriques**

Sur un bas-fond donné, l'objectif du diagnostic est de construire une compréhension globale de son fonctionnement hydrologique et de ses modes d'exploitation, pour engager la discussion avec les paysans sur les contraintes rencontrées et les objectifs d'un éventuel aménagement qui, le cas échéant, serviront de base aux études techniques de conception de l'aménagement.

Comme espace physique, la partie du bas-fond à aménager (éventuellement) fait partie d'un bassin versant et d'un réseau hydrographique. Comme espace productif, il s'inscrit dans des terroirs villageois, et dans les systèmes de production des paysans qui y ont accès. Comme espace social et foncier, il s'intègre dans des trames foncières plus larges. Un diagnostic doit prendre en compte ces différentes dimensions.



► Figure 7 : Place du bas-fond dans un terroir (Lidon et al, 1998)

Le diagnostic se réalise de façon itérative, en dialogue avec les producteurs concernés. La première étape est une caractérisation sommaire du bas-fond, base des discussions ultérieures.

● Identifier les stratégies d'exploitation

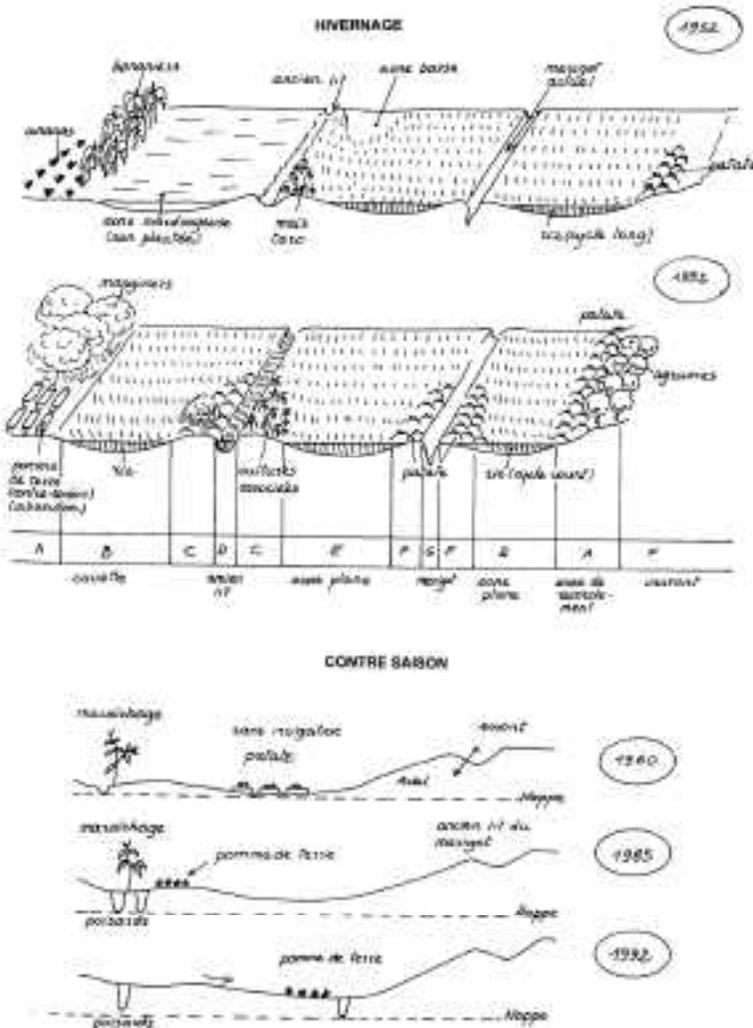
Les bas-fonds ne sont pas toujours le lieu d'une agriculture intensive. En Afrique de l'Ouest, rares sont les endroits où ils sont cultivés intégralement.

Ce sont souvent des espaces multi-usages, où différents modes d'exploitation se combinent de façon dynamique :

- > pâturage de saison sèche dans les larges bas-fonds déboisés, jouant un rôle essentiel dans les systèmes pastoraux ;
- > sorgho vivrier, assurant une sécurité alimentaire en cas d'échec des cultures pluviales, en zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes ;
- > culture de tubercules (patate douce, manioc, igname) sur buttes, en zones soudanaises et guinéennes ;
- > riziculture inondée, permanente ou temporaire, avec ou sans maîtrise de l'eau, en zones soudanaises et guinéennes ;
- > collecte de plantes médicinales, de bois, et exploitation pour l'artisanat dans les forêts-galeries des bas-fonds sahéliens et soudaniens, dans les bas-fonds boisés des zones humides ;
- > exploitation du raphia, aux forts enjeux économiques (fibres, bois de construction, vin) ;
- > pêche ou pisciculture dans les mares et retenues ;

> et plus récemment, maraîchage de saison sèche, avec différents modes d'accès à l'eau selon la profondeur de la nappe en saison sèche (humidité résiduelle, puits ou puisards, pompage dans une retenue, dérivation à partir du lit mineur en cas d'écoulement permanent).

Identifier les usages actuels, les localiser, reconstituer leur évolution, savoir qui les met en œuvre, permet de ne pas se polariser sur le riz et de prendre en compte l'ensemble des modes de mise en valeur (le pâturage de saison sèche en zone sahélienne, l'exploitation des raphias ou des forêts galeries en zones humides, peuvent être tout aussi intéressants). Tout aménagement a un coût d'opportunité : la perte des raphias, l'inondation de vergers, l'exclusion du bétail, peuvent avoir un coût supérieur aux gains liés à l'aménagement. Il est important de comprendre la façon dont les paysans valorisent la diversité des conditions pédologiques et hydriques et de repérer les dynamiques en cours et donc les centres d'intérêt, et en particulier ceux des paysans demandeurs.



► Figure 8 : Localisation et dynamique des cultures dans le bas-fond de M'Péniasso (Hourdillie, 1993)

Il faut également identifier les usagers et les détenteurs de droits fonciers dans la zone à aménager. Un aménagement couvre rarement la totalité d'un bas-fond. C'est une portion définie qui sera aménagée, sur laquelle s'exercent des usages et des droits définis. Identifier ces ayants droits permet de savoir avec quels groupes d'acteurs approfondir le diagnostic et discuter des objectifs à donner à un éventuel aménagement, et repérer ceux sur lesquels l'aménagement aura éventuellement un impact : acteurs exerçant d'autres usages, agriculteurs d'amont ou d'aval touchés par les répercussions de l'aménagement, etc.

On cherche ensuite à répondre, pour les principaux modes d'exploitation actuels, aux questions suivantes : quels sont les acteurs impliqués ? Pour quelles cultures ? Quelle est la place de ces cultures dans l'économie familiale et dans la gestion de la force de travail ? Quels sont les itinéraires techniques pratiqués et leur évolution (cf. chapitre 421) ? Quelles sont les causes de cette évolution ?

Les cultures de bas-fond posent des problèmes de pénibilité du travail. Elles sont souvent secondaires dans des systèmes de production organisés autour des cultures pluviales¹. L'enjeu économique des bas-fonds s'accroît lorsque la pression sur la terre augmente, et lorsqu'il existe des débouchés pour des productions spécifiques, valorisant les conditions hydriques du bas-fond : riz, tubercules, maraîchage. Il peut se lire à travers les stratégies économiques et les itinéraires techniques des différents types d'acteurs : chefs de famille, jeunes hommes, jeunes femmes, femmes âgées ; migrants ou autochtones.

Exemples en Côte d'Ivoire et au Mali

En Côte d'Ivoire, dans le centre-ouest (zone guinéenne), l'intensité culturale en riziculture varie entre 0,15 (culture une année sur sept environ) en brousse et 2,5 (5 cycles sur 2 ans) en péri-urbain. Dans la région de Sikasso (Sud Mali, zone soudanienne), on rencontre aussi bien une riziculture « compétitive », contrôlée par les hommes, dans les bas-fonds bénéficiant de bonnes conditions hydriques et proches des marchés, qu'une riziculture « résiduelle » laissée aux femmes.

Le diagnostic, qui croise observations de terrain et entretiens approfondis avec les différents types de producteurs impliqués, permet de préciser l'enjeu économique de la culture de bas-fonds. Là où cet enjeu économique est réel, il est lié :

- > aux caractéristiques des systèmes de culture pratiqués :
 - cultures de sécurité, garantissant une production céréalière en année sèche : sorgho en zone sahélo-soudanienne; mais aussi tubercules, et même riz en Moyenne Guinée ;
 - cultures de rente, parfois principale source de revenus monétaires ;
 - productions décalées dans le temps par rapport aux cultures pluviales, permettant une meilleure gestion du calendrier de travail, et un étalement des revenus dans l'année ;
- > aux acteurs concernés : là où les chefs de famille s'en désintéressent, les bas-fonds permettent un accès à la terre aux « groupes vulnérables » (femmes, jeunes, chefs de famille pauvres, parfois migrants).

¹ Inversement, sur les hautes terres malgaches (ou en Asie du Sud-Est), certaines paysanneries disposent de savoir-faire hydrauliques, et leurs systèmes de production sont organisés autour de la culture du bas-fond.

Ce diagnostic permet également de repérer les attentes des différents types de producteurs. Il constitue la base pour discuter l'opportunité de l'aménagement et les objectifs techniques qu'il doit remplir : quelles sont les contraintes techniques rencontrées par les producteurs ? Quelle est la part des contraintes hydriques ou liées au fonctionnement hydrique du bas-fond ? Travailler sur la maîtrise de l'eau est-il pertinent, par rapport à quelle contrainte ?

Des contraintes de fertilité ?

Les sols de bas-fonds sont de texture variable, souvent sableux, parfois lessivés, de faible richesse minérale, avec des variations selon la topographie et l'hydrologie. Sur substrat gréseux, ils sont acides, de faible CEC, avec des risques de toxicité aluminique ; sur substrat basaltique, ils sont au contraire de pH presque neutre, riches en Ca et Mg. En zones humides, on rencontre fréquemment des sols pauvres, avec un horizon organique peu minéralisé, et des sables gris lessivés dessous.

Le fonctionnement physico-chimique des sols de bas-fonds dépend de l'alternance et de la durée des phases de submersion et d'exondation. En climat humide, le passage en phase anaérobie (inondée) provoque une remontée du pH et une réduction des ions, dont certains deviennent solubles, et donc assimilables. Ceci permet une meilleure alimentation minérale, malgré une faible CEC, mais peut provoquer des risques de toxicité ferreuse. L'assèchement en fin de saison des pluies entraîne inversement une oxydation, une acidification, avec parfois un lessivage, tant horizontal que vertical, des ions Ca^{++} et Mg^{++} , et parfois une toxicité aluminique. Ces processus sont plus marqués dans les sols sableux, acides, à faible richesse organique. Ils peuvent disparaître avec des amendements. La présence d'argiles et la matière organique permettent de tamponner ces phénomènes. La dynamique de la matière organique est elle aussi fonction des conditions hydriques : bloquée en phase anaérobie, la minéralisation reprend en phase aérobie.

● **Le diagnostic hydraulique**

Il vise à repérer la morphologie du bas-fond et les grandes lignes de son hydrologie. Un minimum de levés topographiques (profil en long, quelques profils en travers) sont utiles pour préciser l'analyse. Selon sa complexité, ce diagnostic peut être réalisé par les équipes d'appui à la maîtrise d'ouvrage, ou bien devoir être confié à des spécialistes. Un diagnostic qualitatif général, à partir de photos aériennes et de visites du bas-fond avec les paysans, permet le plus souvent de caler le champ des possibles et de définir les grands types d'ouvrages. Il comprend la caractérisation :

- > de la structure du paysage et de la morphologie du bas-fonds au sein du bassin versant ;
- > des éléments-clés du fonctionnement hydrologique : le plus délicat concerne la dynamique des nappes, qui n'est perceptible que de façon indirecte : affleurement, écoulements dans le lit mineur ou tarissement, observation des puits ou puisards proches, etc.

Seuls certains types d'ouvrages, avec béton et crues importantes, nécessitent une étude technique approfondie, indispensable pour vérifier la faisabilité de l'aménagement et dimensionner l'ouvrage. Lorsque des référentiels régionaux existent, le diagnostic peut être rapide et porter sur un nombre limité d'indicateurs dont la pertinence a été vérifiée.

Le DIARPA, une méthode de diagnostic rapide pré-aménagement

Dans la région de Sikasso, au Mali (zone soudanienne), le CIRAD a mis au point une méthode de diagnostic rapide pré-aménagement (DIARPA) qui devrait être valable pour les zones sahélo-soudanaises. Il permet de définir le type d'aménagement possible, en fonction de quelques paramètres pédologiques, topographiques et hydrologiques, et d'estimer le coût de l'ouvrage. Un logiciel de DIARPA a été mis au point. L'IRD et l'EIER travaillent à la mise au point d'un logiciel de calcul des crues en zones sahéliennes et soudano-sahéliennes, qui sera une aide inestimable.

● ***Anticiper les enjeux fonciers et les questions d'action collective***

Tout bas-fond est un espace socialisé, approprié, et ses différents modes de mise en valeur font l'objet de règles d'accès et de gestion. Un aménagement n'est jamais réalisé en terrain vierge (cf. chapitre 231). Il transforme le statut et la valeur de la terre, il peut être une façon de consolider des droits sur l'espace à aménager, ou au contraire d'en conquérir. Spécialisant l'espace, modifiant les flux hydriques, il aura des effets sur les différents usages (pâturage, vergers de bas de pente), et donc sur les différents usagers.

Il n'y a guère d'aménagement sans enjeu foncier. Il faut donc, préalablement à tout aménagement, clarifier s'il y a ou non redistribution foncière et selon quelles modalités, en négociant le devenir de ceux qui exploitent en faire valoir indirect, en négociant avec les usagers potentiellement lésés, en précisant les règles d'accès à la ressource (limitation des zones de culture autour d'un barrage pour permettre l'accès au bétail).

Lorsque l'aménagement crée une interdépendance fonctionnelle entre exploitants, lorsqu'il y a des vannes à ouvrir ou fermer, des canaux à mettre en eau, se posent des questions de responsabilité collective : qui est habilité à prendre des décisions qui ont des impacts sur tous ? Sur quels principes, selon quelles modalités ? Ces questions de responsabilité collective et de maintenance doivent être traitées elles aussi avant l'aménagement.

● ***La conception de l'aménagement et la décision d'aménager***

La conception de l'aménagement et la discussion sur les modalités de réalisation sont réalisées en dialogue avec les producteurs concernés. Le type d'ouvrage possible dépend de la zone agroclimatique et des caractéristiques physiques du bas-fonds en question. Un ouvrage sera plus ou moins bien adapté, et donc plus ou moins efficace ou rentable.

Les impacts possibles, positifs ou négatifs, doivent être explicités. Il est indispensable de prendre en compte les effets de l'aménagement pour les autres acteurs : impact sur les autres usages du bas-fond, impacts hydrauliques en aval. Fondés sur une logique exclusivement agricole, les aménagements tendent à spécialiser l'espace et à empêcher ou rendre plus difficiles les différents autres usages. Prendre en compte ces usages peut permettre de faciliter leur co-existence : échelles à poissons sur les ouvrages qui bloquent un lit mineur, accès du bétail aux mares, etc.

Tableau 1 : critères de choix du type d'aménagement en zone soudano-sahélienne pour DIARPA (Lidon et al, 1998)

Critères	Indicateurs						
	Pédologiques		Topographique		Hydrologiques		
	Pernéabilité (m/s)	Profondeur d'une couche imperméable	Pente longitudinale moyenne du bas-fonds	Axe d'écoulement	Débit de crue par mètre de largeur de bas-fond	Profondeur de la nappe d'infiltration du bas-fond début janvier	Durée minimum de couverture des besoins en irrigation par les écoulements de base
Diguettes déversantes en courbe de niveau	< 10 ⁻⁴	indifférent	< 1%	Pas d'axe	3 l/s	indifférent	indifférent
Diguettes en courbe de niveau avec ouvrage de déversement des crues	< 10 ⁻⁴	-	< 1%	Avec ou sans axe marqué	25 l/s	-	-
Seuils déversants sans masque d'étanchéité	< 10 ⁻⁴	-	< 0,5 %	Axe marqué	250 - 600 l/s	-	-
Seuils déversants avec masque d'étanchéité	> 10 ⁻⁴	< 2m	< 0,5 %	Axe marqué	250 - 600 l/s	-	-
Ouvrage de diversion pour l'épandage des écoulements	< 10 ⁻⁴	indifférent	< 1%	Axe encaissé	50 l/s	-	1 mois
Ouvrage de diversion pour réinfiltration et recharge des nappes	> 10 ⁻⁴	-	< 1%	Axe encaissé	50 l/s	< 2m	1 mois

Type d'aménagement du bas-fond

S'il y a recours à des spécialistes pour les études techniques, ceux-ci doivent travailler à partir d'un cahier des charges précisant les fonctions hydrauliques à remplir. L'étude technique doit être restituée aux paysans et débattue avec eux, de même que les coûts et financements. C'est seulement à ces conditions que les paysans peuvent s'engager en connaissance de cause dans le choix d'aménager. Les modalités de financement et les formes d'autofinancement local (en travail et en argent) doivent être réfléchies et discutées.

Lorsqu'il y a recours à des entreprises, la réalisation de consultations restreintes permet de bénéficier d'un meilleur rapport qualité/prix. Les paysans peuvent être associés à la sélection des prestataires, dès qu'ils disposent de référentiels.

● **Les coûts et la rentabilité**

Un aménagement est un investissement productif. Il est donc essentiel d'en mesurer la rentabilité, et d'avoir une politique de financement adaptée. On peut considérer comme raisonnable une durée de retour sur investissement de trois ou quatre ans pour des aménagements demandant essentiellement un investissement en main-d'oeuvre (digues filtrantes, aménagements en zones humides), et de cinq à dix ans maximum pour des digues rizicoles en béton. Ces résultats sont atteints assez facilement dès lors que le choix d'aménager a été raisonné².

Les aménagistes doivent veiller à conserver des coûts raisonnables en valorisant au mieux les matériaux locaux et en adaptant les normes techniques à la taille des ouvrages (un seuil déversant de 0,8 m de haut n'est pas un barrage de 5 m). En zone guinéenne, où l'essentiel de l'investissement consiste en travail, les paysans aménagent progressivement leurs bas-fonds : drainage la première année, puis planage et casiérage par tranches, en fonction de la main-d'oeuvre dont ils disposent. On est alors en auto-financement quasiment total, à l'exception de l'appui technique qui peut être financé de l'extérieur.

En zones sahélo-soudanienne et soudanienne, les ouvrages demandent des compétences pointues en génie rural et des investissements monétaires (ciment, location de camion pour le transport des pierres, etc.). En outre, pour résister aux crues, l'ouvrage doit être fini en une saison. Un financement extérieur – en crédit ou subvention – est donc nécessaire, pour une partie au moins des coûts monétaires.

● **La contractualisation**

La décision d'aménager aboutit à une demande de financement. Clarifier le statut juridique du futur ouvrage, les règles internes d'accès au foncier et désigner l'instance responsable de sa gestion devraient être des conditionnalités pour le déblocage des financements. La décision de financement fait l'objet d'un contrat avec le groupe demandeur. Les modalités de financement, la part d'autofinancement, le circuit de l'argent doivent être réfléchis. En cas d'aménagement en béton, un cahier des charges d'entretien, explicitant les différentes opérations, leur coût, leur fréquence, est à adjoindre au dossier.

Lorsque la réalisation demande l'intervention de prestataires techniques, le groupe demandeur, maître d'ouvrage du projet et futur gestionnaire ou propriétaire officiel

² En zone soudanienne, rares sont les endroits où le riz suffit à rentabiliser une digue déversante.

est co-signataire du contrat. Il co-signe également le procès verbal de réception de l'ouvrage.

AMÉNAGER : LES CHOIX TECHNIQUES

La morphologie des bas-fonds, leur hydrologie, les logiques paysannes et, *in fine*, les modèles techniques d'aménagements sont totalement différents selon la zone agroclimatique. On présente ici de façon très synthétique les principales contraintes hydriques rencontrées dans les grandes zones agroclimatiques et les grands modèles correspondant. Les choix techniques sont plus complexes dans les zones intermédiaires. Dans toutes les zones, des ouvrages de correction de lit mineur ou de contrôle de l'érosion peuvent être utiles.

● **En zone sahélienne et sahélo-soudanienne (300 - 600 mm)**

En hivernage, la contrainte agricole principale est le risque d'échec des cultures pluviales. Bénéficiant de meilleures conditions hydriques, le bas-fond permet des cultures moins risquées : outre leur fonction de pâturage de saison sèche, les bas-fonds sont donc souvent cultivés en sorgho à cycle long, qui assure une récolte en année sèche, même si les cultures pluviales sont sinistrées. Les crues, souvent violentes, transitent dans le bas-fond sans toujours permettre une humidification permanente.

L'objectif est d'épandre les crues sur toute la largeur du bas-fond, pour :

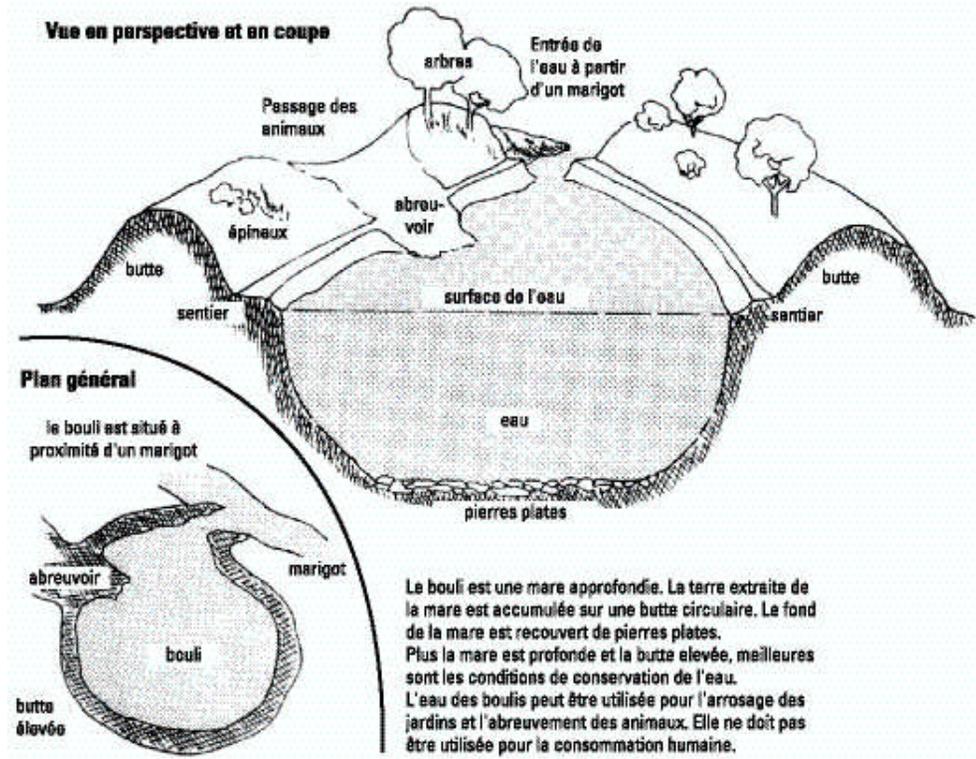
- > réduire la violence des crues et leur capacité érosive ;
- > faire sédimenter les éléments fins ;
- > assurer l'alimentation hydrique du sorgho sur toute la largeur du bas-fond ;
- > accroître, en sols filtrants, l'infiltration et la recharge de nappe, pour alimenter les puits domestiques ou destinés au maraîchage.

La création de points d'eau permanents pour le bétail est également importante. Mais, vu l'ETP annuelle, le stockage d'eaux de surface implique des pertes énormes.

● **Surcreusement de mares, mares artificielles**

Aménager une mare existante revient à faciliter son alimentation ou à accroître sa capacité de stockage. Pour les mares qui se sont envasées, un curage manuel ou au bulldozer permet d'accroître la profondeur et éventuellement la surface. Une protection amont, par digues filtrantes par exemple, est souvent nécessaire. La capacité de stockage peut être accrue par une digue aval, qui permet aussi de stocker les déblais sortis de la mare. Mais la mare ne sera permanente que si l'on atteint la nappe (ce qui n'est pas toujours possible), ou si la hauteur d'eau stockée dépasse les pertes.

Les mares artificielles (ou boullis) sont des dépressions surcreusées (cf. fig. 9). Elles sont alimentées en hivernage par dérivation des crues du lit majeur. Leur profil est beaucoup plus encaissé que les mares naturelles : il faut atteindre une profondeur supérieure à la hauteur de l'évaporation, qui peut être freinée en limitant la surface à l'air libre et en végétalisant la digue.



► Figure 9 : Les boulis (Chlecq et Dupriez, 1987)

● Petits barrages

Les petits barrages sont des retenues de 3 à 4 m de hauteur, visant à constituer un stockage d'eau en surface et non plus en profondeur. Ils peuvent être en béton, en terre compactée, en gabion, ou mixtes. Un ouvrage en terre implique un déversoir partiel bétonné ou en gabions, capable d'évacuer la totalité de la crue. Les petits barrages nécessitent des calculs hydrauliques sérieux³.

Les petits barrages sont destinés à créer un point d'eau permanent, la hauteur stockée dépassant les pertes par évaporation. Dans la réalité, c'est rarement le cas. Les intervenants de développement sont aujourd'hui souvent réticents face à cette technique, coûteuse, et à l'impact productif incertain. En sols peu filtrants, il ne faut cependant pas négliger l'impact sur la recharge des nappes d'un stockage d'eau de surface, même temporaire. Les petits barrages sont une option technique à réserver à des cas spécifiques : site favorable, enjeu de recharge de nappe, possibilité de valorisation agricole du fait de l'existence de dynamiques maraîchères ou de proximité urbaine, etc.

3 Cf. ROYET, P. 1992 *Les ouvrages en gabions*, CEMAGREF/Ministère de la Coopération.

● Dignes filtrantes

Constituées de pierres libres, éventuellement renforcées par des gabions, les digues filtrantes sont construites perpendiculairement à l'axe du bas-fond, ou en courbes de niveau, pour ralentir et étaler les flux de ruissellement. Un bas-fond s'aménage par une série de digues, de façon à ce que la base de l'une soit à la cote du sommet de l'autre.

Les digues laminent les faibles crues mais n'ont que peu d'influence sur les fortes crues. Elles augmentent de quelques heures la durée de submersion des parcelles amont, ce qui accroît nettement l'infiltration ainsi que l'humidité du sol. L'impact est marqué en début et fin de saison des pluies, en année sèche. Il peut être nul ou même négatif en année pluvieuse.

Les digues filtrantes sont également utilisées, dans différents contextes agroécologiques, en lutte anti-érosive ou en protection d'ouvrages aval contre l'envasement. Sur des bas-fonds à sols filtrants, des digues filtrantes peuvent avoir à elles seules un effet positif sur la recharge de la nappe superficielle.



L'eau de crue est freinée et est retenue quelques heures après la pluie.



Les particules solides transportées par l'eau se déposent en une terrasse de sédimentation : un sol se crée.



L'eau stagnante s'infiltre dans le sol et recharge la réserve utile.

Le drain de pied est prolongé sur le talus amont. On le prolonge chaque année avant la saison des pluies (sur le talus non colmaté par la terrasse). Il intercepte et dévie les écoulements à travers la digue. En augmentant le parcours à travers la digue, il ralentit donc la vidange de la retenue temporaire.



L'eau en excès filtre dans le massif d'enrochement où elle perd sa force érosive avant d'être évacuée vers l'aval où une autre digue l'attend.

► Figure 10 : Les digues filtrantes (Berton, 1988)

● En zone soudanienne (800 - 1 200 mm)

En hivernage, les cultures sont variées, en fonction de la topographie et des conditions hydriques : tubercules, maïs, etc. dans les zones hautes ; riziculture mixte, pluviale/assistée par la nappe/inondée dans les zones basses. Les champs sont semés en conditions humides après les premières pluies et l'inondation du bas-fond ne survient qu'en cours de saison.

À 800-1000 mm, les quantités d'eau sont rarement limitantes, mais il peut y avoir des risques au semis, voire des sécheresses de fin de cycle. En dehors des très grands bassins versants, le risque d'arrachage des pieds par les crues semble réduit.

Les contraintes principales tiennent à :

- > une submersion tardive, qui fait que le riz commence en pluvial, avec une forte pression adventice ; dans un certain nombre de cas l'abandon récent de la riziculture de bas-fonds est lié à la difficulté à contrôler les adventices plus qu'à une réelle contrainte hydrique ;
- > une succession d'assecs et de phases inondées en cours de cycle, qui peut avoir un effet dépressif sur le riz.

En saison sèche, l'extension du maraîchage est déterminée par la dynamique de la nappe et, en particulier, par son niveau en début de saison et en fin de cycle (les puisards étant limités à environ 2 m de profondeur).

Dans les bas-fonds étroits et filtrants, des barrages souterrains permettent de freiner les écoulements longitudinaux de la nappe et de ralentir sa descente. Ils sont totalement efficaces lorsqu'on rencontre une couche imperméable à moins de 2 m.

Dans les bas-fonds larges avec lit mineur, bloquer la vidange de la nappe via le lit mineur et épandre la crue sur le bas-fond peut avoir le même effet. Là où les conditions de marché sont favorables, une remontée de la nappe étend la zone cultivable, réduit le coût de puisage et peut avoir un impact économique spectaculaire. Les aménagements pastoraux⁴ constituent également une priorité fréquente des ruraux.

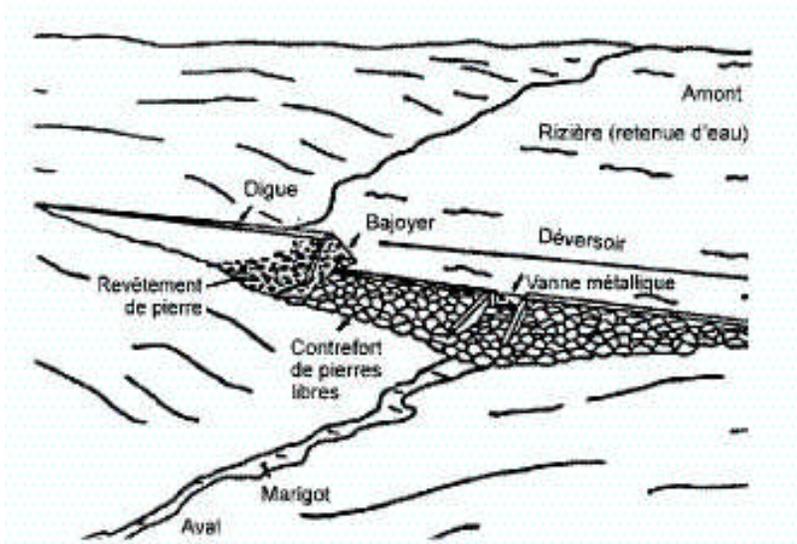
Pour la riziculture, certains bas-fonds à nappe affleurante sont aménagés par les paysans en casiers. On se rapproche là des conditions de la zone humide, où la gestion de la nappe et le maintien d'une lame d'eau à la parcelle sont essentiels. Sur les larges bas-fonds plats (pente < 1 %) et non-filtrants, avec des crues limitées (quelques l/s par mètre de largeur de bas-fond), des diguettes en terre en courbes de niveau ou du casierage peuvent permettre de stocker une lame d'eau qui sécurise l'alimentation en eau et facilite la maîtrise des adventices.

Mais les courbes de niveau ne se superposent pas au parcellaire, ce qui complique la gestion foncière. En cas de lit mineur, un barrage sur le lit mineur peut épandre la crue et réduire son impact, à condition qu'il n'aggrave pas les problèmes d'inondation en amont.

Les aménagements rizicoles sont les digues déversantes ou «seuils rizicoles», qui coupent perpendiculairement un bas-fond plat ou légèrement concave, afin de stocker l'eau des crues et de constituer une lame d'eau favorable au riz. Ils sont constitués d'une partie aérienne (un micro-barrage de 0,7 à 1 m de haut en moyenne) et, pour des sols filtrants, d'une partie souterraine. Cette barrière anti-drainage bloque tout ou partie des écoulements longitudinaux de la nappe et ralentit son abaissement en fin de saison (cf. fig. 11). On gère la lame d'eau en ouvrant ou fermant les vannes, en fonction des besoins du riz. Il n'y a pas d'aménagement à la parcelle.

D'autres modèles sont en voie d'expérimentation, mettant plus l'accent sur le contrôle de la nappe, qui est en fait l'enjeu principal (ouvrages de diversion pour le soutien de la nappe, dans les bas-fonds filtrants larges à crue modérée < 50 l/s/mètre de largeur de bas-fond).

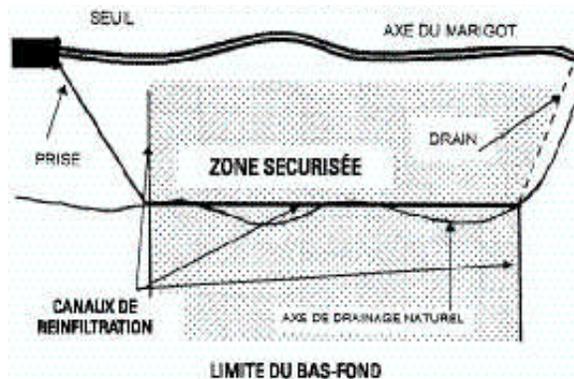
4 Surcreusements des mares ou petites retenues de surface visant à accroître la capacité de stockage de mares existantes.



► Figure 11 : Les seuils rizicoles (Albergel et al, 1993)

Les seuils rizicoles

Un tel seuil permet, après remplissage de la retenue, de cultiver un riz inondé sous une lame d'eau de hauteur variable selon la position du champ par rapport à l'ouvrage, sécurisant la production en année médiocre ou mauvaise, et facilitant le contrôle des adventives. L'ouvrage doit être muni d'un dispositif de vidange, jusqu'au sol naturel, dimensionné pour évacuer rapidement les excès d'eau. Les effets sont variables selon la morphologie du bas-fond : les seuils rizicoles sont bien adaptés aux bas-fonds dits « rubans », plats et étroits, à faible pente longitudinale ($< 0,5\%$), où un seuil de faible hauteur permet de contrôler une surface importante. L'impact et la rentabilité sont plus discutables dans les bas-fonds concaves ou à forte pente, qui obligent à augmenter la hauteur du seuil, et donc les coûts, risquant en outre de noyer les zones basses. Un mètre semble la hauteur maximale. La gestion des vannes pose des conflits d'intérêts entre paysans.



► Figure 12 : Epannage de crues et soutien à la nappe (Lidon et al, 1998)

● **En zone guinéenne (> 1 500 mm)**

On ne cherche plus à stocker de l'eau, mais au contraire à éliminer les excès. En hivernage, les bas-fonds sont noyés assez rapidement en saison des pluies, mais la culture du riz démarre souvent en conditions exondées. Les risques liés à l'arrachage des plants sont limités, voire absents. En revanche, en cas de vidange insuffisante du bas-fond, les plants peuvent être noyés.

Les principaux objectifs de la maîtrise de l'eau sont :

- > de drainer pour assainir le terrain et limiter l'impact des crues (réduire la durée de submersion) ;
- > d'assurer une lame d'eau permanente, afin de contrôler les adventices et d'améliorer l'alimentation minérale du riz ;
- > le cas échéant, de pouvoir gérer l'eau (quelques assècs contre la toxicité ferreuse).

En saison sèche (ou en petite saison des pluies), les potentialités dépendent des conditions hydriques : second cycle de riz en cas de nappe affleurante et de cours d'eau permanent permettant d'assurer une lame d'eau ; maraîchage par capillarité et/ou irrigation lorsque la nappe est suffisamment rabattue pour éviter les nécroses racinaires. Le contrôle du drainage et l'irrigation de complément par dérivation du lit mineur sont les deux aspects sur lesquels on peut jouer. Les débits d'étiage sont rarement suffisants pour assurer à eux seuls l'alimentation hydrique : ils ne peuvent que maintenir une humidité de surface et compléter des remontées capillaires dues à une nappe proche.

Les aménagements visent à jouer sur les entrées et les sorties d'eau pour contrôler le niveau de la nappe et assurer de bonnes conditions hydriques à la parcelle : maintien d'une lame d'eau pour du riz, drainage superficiel assurant une alimentation hydrique par capillarité pour le maraîchage ou la culture sur butte. Ils combinent, en fonction de chaque cas, aménagement parcellaire, et infrastructure d'ensemble : lit mineur recalibré ou creusement d'un drain, parfois canaux latéraux d'irrigation. Il faut veiller aux risques de surdrainage : ne pas approfondir le lit mineur, pouvoir fermer le drain ou le lit mineur en saison sèche.

La conception des aménagements, et surtout leur dimensionnement, est essentiellement empirique : observer pour reconstituer qualitativement les grandes lignes du fonctionnement hydrologique du bas-fond ; dimensionner avec beaucoup de prudence, en considérant qu'on affine le travail après une première saison et qu'un aménagement se stabilise sur deux ou trois ans. Il est néanmoins indispensable de raisonner cet empirisme et de se donner les moyens, dans les premières années d'intervention, de suivre les bas-fonds pour constituer un référentiel technique régional qui pourra être ensuite formalisé.

DES QUESTIONS À APPROFONDIR

Ce ne sont pas les potentialités agronomiques qui font l'intérêt d'un aménagement, mais les dynamiques paysannes qui justifient, parfois, d'artificialiser le milieu pour permettre des gains de productivité. On observe dans un certain nombre de régions des dynamiques paysannes d'exploitation croissante des bas-fonds qui justifient des actions d'appui. Pour autant, il ne faut pas surestimer l'impact des aménagements, ni sous-estimer les nombreuses incertitudes qui demeurent.

La façon de concevoir les aménagements de bas-fonds a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. Des modèles techniques assurant une maîtrise partielle de l'eau, plus proches des logiques paysannes, ont été mis au point. Des méthodes de diagnostic rapide et d'appui aux demandes paysannes ont été formalisées. Mais l'évolution n'est pas achevée et trop peu de projets se donnent les moyens d'évaluer l'impact technico-économique des aménagements qu'ils contribuent à créer, réduisant ainsi les possibilités de capitalisation et d'apprentissage. Dans la plupart des régions, les référentiels techniques restent à concevoir et à formaliser.

Certains points restent insuffisamment approfondis, et les intervenants devraient y être attentifs :

- > les questions d'action collective au sein des aménagements collectifs ;
- > les interdépendances hydrauliques entre villages d'amont et d'aval ;
- > les questions d'impact environnemental : destruction de flore, effets du drainage ou au contraire du stockage d'eau, etc.

Bibliographie

- ALBERGEL J. et al., 1993 *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel*, CORAF/CIEH
- BERTON, S. 1988 *La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest*, GRET/AFVP/Ministère de la Coopération/ACCT
- CEMAGREF/CIEH/ORSTOM 1997 *Crues et apports, manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 54, FAO, 245 p.
- GADELLE, F. 1989 *Hydraulique pastorale et rurale : le surcreusement des mares*, coll. Maîtrise de l'eau, Ministère de la Coopération et du Développement.
- LAVIGNE DELVILLE Ph. et BOUCHER L. 1996 *Les bas-fonds en Afrique tropicale humide, guide pour le diagnostic et l'intervention*, coll. Le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA, 416 p
- LAVIGNE DELVILLE Ph. et CAMPHUIS N. 1997 *Aménager les bas-fonds dans les pays du Sahel*, coll. Le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA.
- LAVIGNE DELVILLE Ph., BOUJU J. et LE ROY E., 2000, *Prendre en compte les enjeux fonciers dans une démarche d'aménagement : stratégies foncières et bas-fonds au Sahel*, coll. Etudes et Travaux, Paris, Editions du GRET.
- OOSTERBAAN R.J., GUNNEWEG H.A. et HUIZING A. 1986 « *Water control for rice cultivation in small valleys of west Africa* », ILRI Annual Report, Wageningen, ILRI, pp. 30-49
- RAUNET, M. éd. 1993 *Bas-fonds et riziculture*, Actes du séminaire d'Antananarivo, CIRAD/ORSTM/FOFIFA, 517 p



3

ACCOMPAGNER LE DEVELOPPEMENT DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

- 3.1 Analyser la diversité
des exploitations agricoles**
- 3.2 Analyser le fonctionnement
d'une exploitation**
- 3.3 Faciliter l'émergence
et la diffusion des innovations**

Analyser la diversité des exploitations agricoles

À partir des contributions de P. Bergeret (GRET)
et M. Dufumier (INA-PG)

DÉCRIRE UNE EXPLOITATION PAYSANNE

● *Le modèle de l'exploitation familiale*

● Les origines

La notion d'exploitation agricole familiale trouve son origine dans l'organisation de la production agricole en Europe. Elle a pris corps et s'est consolidée dans le discours théorique des agronomes et des économistes agricoles à partir du début du ^{xx}^{ème} siècle. Elle repose sur la dominance historique longue, en Occident, d'un modèle d'agriculture basé sur la famille monogame nucléaire et les moyens qu'elle met en œuvre aux fins de produire des denrées agricoles. Par extension, elle s'applique dans tous les contextes où l'organisation sociale de la production ressemble au cas européen. Ailleurs, là où les sociétés se structurent selon des schémas différents, la notion d'exploitation agricole familiale se révèle plus délicate à utiliser. L'analyse agronomique et économique, faute de mieux, y a malgré tout recours, en l'adaptant.

Le mode d'organisation de l'agriculture s'est discuté, tout au long du ^{xx}^{ème} siècle, en fonction du système politico-économique dans lequel le secteur agricole s'insère. Ainsi les régimes communistes ont-ils œuvré à la mise en place d'une agriculture planifiée, basée sur l'appropriation collective des moyens de production, soit sous la forme de coopératives de production, soit sous la forme de fermes d'Etat. Nombre d'analystes, parmi lesquels beaucoup d'économistes marxistes, prévoient que le développement du capitalisme allait également entraîner la concentration des activités agricoles au sein de grandes firmes privées employant de nombreux salariés.

Dans un cas comme dans l'autre, c'est l'exploitation familiale qui a perduré. La chute des régimes communistes d'Europe ou leur réforme dans d'autres régions du monde a abouti à la résurgence d'une agriculture basée sur l'exploitation familiale. La modernisation accélérée des agricultures occidentales au cours de la deuxième moitié du ^{xx}^{ème} siècle ne s'est pas opérée dans le cadre de grandes firmes agricoles capitalistes mais au sein des exploitations familiales dont la flexibilité, la robustesse et les capacités d'adaptation se sont révélées supérieures à celles de tous les autres modèles imaginables.

En effet, l'agriculture familiale cherche avant tout à rémunérer sa main-d'œuvre, souvent même en dessous du prix de marché de la main-d'œuvre. La rémunération de son capital passe au second plan, à la différence des entreprises capitalistes aux exigences de profit plus pressantes. Cela explique en grande partie pourquoi l'exploitation familiale peut survivre dans des conditions où aucune entreprise capitaliste ne pourrait évoluer longtemps.

De nos jours, c'est donc ce mode d'organisation de l'agriculture, avec de nombreuses variantes locales, qui domine largement. Et cela, même si d'autres modèles peuvent se rencontrer : plantations capitalistes multinationales en Malaisie, difficile survie de l'agriculture collectiviste en Corée du Nord, domaines agricoles en actionnariat en Europe, etc.

Dans les pays riches, où la productivité de l'agriculture s'est très rapidement accrue depuis la fin de la seconde guerre mondiale, l'exploitation agricole familiale est souvent considérée comme une entreprise, gérée selon les critères de toute firme capitaliste. Ainsi, pour de nombreux économistes occidentaux, l'entreprise agricole, obéissant aux lois du marché et cherchant à maximiser le profit se distingue du foyer familial qui relève de la sphère sociale et doit être étudié séparément. Cette approche demande de séparer les activités agricoles des autres activités productives de certains membres du foyer, afin de bien individualiser le fonctionnement et les performances de l'entreprise agricole. Mais cette distinction est artificielle et nuit souvent à la bonne compréhension du fonctionnement des exploitations familiales. Le comportement des familles paysannes, leurs objectifs et leurs contraintes prennent en compte l'ensemble des activités de la famille et relèvent tout autant des sphères techniques qu'économiques et sociales. Vouloir séparer une entité «entreprise agricole» et une entité «famille» peut conduire à des analyses tronquées.

● Les facteurs de production

Une exploitation agricole, dans son fonctionnement productif, doit réunir différents éléments nécessaires pour qu'une production, végétale ou animale, puisse être entreprise. Ces éléments, appelés facteurs de production, sont la terre (encore appelée le foncier), le travail (humain) et tous les biens matériels utilisés au cours de la production (les moyens de production).

● Le foncier

Le foncier de l'exploitation est constitué par l'ensemble des terres exploitées et des superficies construites : habitations, bâtiments pour le bétail, hangars, greniers, silos, etc.

Il se caractérise :

- > *par la nature des terres*, c'est-à-dire les types de sols, la nature du sous-sol, le niveau de fertilité, la pente, l'exposition, l'altitude, etc. Les aménagements fonciers peuvent être considérés comme un moyen d'améliorer la nature des terres : drainage, irrigation, amendements, terrasses, etc ;
- > *par la superficie des terres de l'exploitation*, facteur de première importance pour l'analyse économique de l'exploitation ;

> *par le mode de tenure des terres. Les terres en propriété* appartiennent aux membres de la famille. Sur *les terres en métayage*, la famille a un droit d'exploitation pendant une certaine durée, en échange du versement d'une partie déterminée de la récolte au propriétaire. En général le propriétaire fournit certains moyens de production destinés à l'exploitation des terres en métayage : semences, engrais, traction animale... *Les terres en fermage* font l'objet d'un contrat (ou bail) entre l'exploitant et le propriétaire, pour une durée déterminée. Ce contrat donne le droit à l'exploitant d'utiliser les terres en question en échange d'une somme fixée à la signature du contrat et versée au propriétaire à intervalles réguliers (en général tous les ans). Il peut arriver que des exploitants utilisent des terres dont ils ne sont pas propriétaires et pour lesquelles ils n'ont établi aucun contrat avec le propriétaire. On parle alors de *terres occupées*. Ces terres peuvent parfois faire l'objet de transactions informelles entre différents exploitants. Enfin, certaines terres peuvent être utilisées par plusieurs exploitations à la fois : parcours pour le bétail, forêts, etc. Elles ne peuvent être considérées comme faisant partie du foncier de l'exploitation, mais doivent être prises en compte dans l'analyse du fonctionnement de l'exploitation.

Pour caractériser le foncier d'une exploitation, il faut bien préciser le mode de tenure de toutes les terres utilisées (cf. chapitre 32). Le *capital foncier* est égal à la valeur des terres de l'exploitation en propriété (cf. chapitre 231).

● **Le travail**

Le travail nécessaire aux activités productives de l'exploitation peut être fourni par de la main-d'œuvre familiale ou extérieure à la famille : salariés, journaliers, groupes d'entraide, etc. Pour la main-d'œuvre familiale, il importe de prendre en compte les activités hors exploitation des membres du foyer. Il peut en effet y avoir concurrence entre travail agricole sur l'exploitation et travail hors de l'exploitation, ce qui influence son fonctionnement. L'analyse économique d'une exploitation agricole demande une évaluation quantitative du travail utilisé sur l'exploitation, parfois délicate à conduire. Pour le recours à la main-d'œuvre extérieure, on analysera les différentes modalités, leur importance relative et leur coût.

Estimer les quantités de travail

Pour effectuer ces estimations, on a souvent recours à des normes standardisées. Par exemple, un homme adulte = 1 actif, ou encore un enfant = 1/2 actif. Ces normes sont souvent sujettes à caution car les formes d'organisation du travail varient fortement d'une société à l'autre. Par exemple, l'âge auquel les enfants participent aux travaux agricoles varie selon les types d'agriculture ou les types d'exploitations.

● **Les moyens de production**

Les moyens de production d'une exploitation (capital fixe, capital circulant) peuvent être recensés et évalués grâce à un inventaire effectué à une date précise. La comparaison d'inventaires successifs donne une idée de l'évolution des moyens de production d'une exploitation. Comme pour le foncier, tous les moyens de production utilisés sur une exploitation ne sont pas forcément en pleine propriété : outillage prêté, matériel utilisé en commun, etc.

Parmi les moyens de production, une attention particulière est à porter au bétail. On distingue les animaux par leur espèce, leur âge et leur fonction : reproduction, engraissement, transport, traction, etc. Ici encore, tous les animaux ne sont pas forcément en propriété. Certains peuvent être mis en pension sur l'exploitation, c'est-à-dire soignés et entretenus sur l'exploitation contre rétribution, alors qu'ils appartiennent à un tiers.

Les moyens de production représentent du capital que l'exploitant a dû investir. Ces investissements ont pu être financés par les gains de l'exploitation agricole elle-même, par les revenus d'autres activités du foyer ou par le recours au crédit.

Parmi les moyens de production, on distingue :

- > *le capital fixe d'exploitation* qui est la valeur des biens servant à plusieurs cycles de production : outils, moyens de traction, bâtiments d'élevage, animaux reproducteurs, etc.
- > *le capital d'exploitation circulant* (encore appelé consommations intermédiaires) est la valeur des biens consommés pendant un cycle de production : semences, engrais, aliments du bétail, etc.

Le capital total d'exploitation

Celui-ci est égal à la somme capital foncier + capital fixe d'exploitation + capital d'exploitation circulant. La production agricole et les itinéraires techniques mis en œuvre sur l'exploitation résultent de la combinaison des moyens de production, selon des modalités résultant de décisions prises par l'agriculteur. La gestion d'une exploitation comprend l'ensemble des décisions qui déterminent les modalités de combinaison des moyens de production de l'exploitation (cf. chapitre 32).

● **Le cycle familial**

La structure et le fonctionnement d'une exploitation familiale varient dans le temps. Ces variations ont un impact sur les performances de l'exploitation et sur le bien-être de la famille. Elles s'expliquent par des causes externes liées au contexte dans lequel l'exploitation évolue et par des causes internes liées au cycle de la famille. Il y aurait ainsi une évolution naturelle de l'exploitation familiale, une sorte de respiration, liée aux différentes étapes que traverse la vie d'une famille.

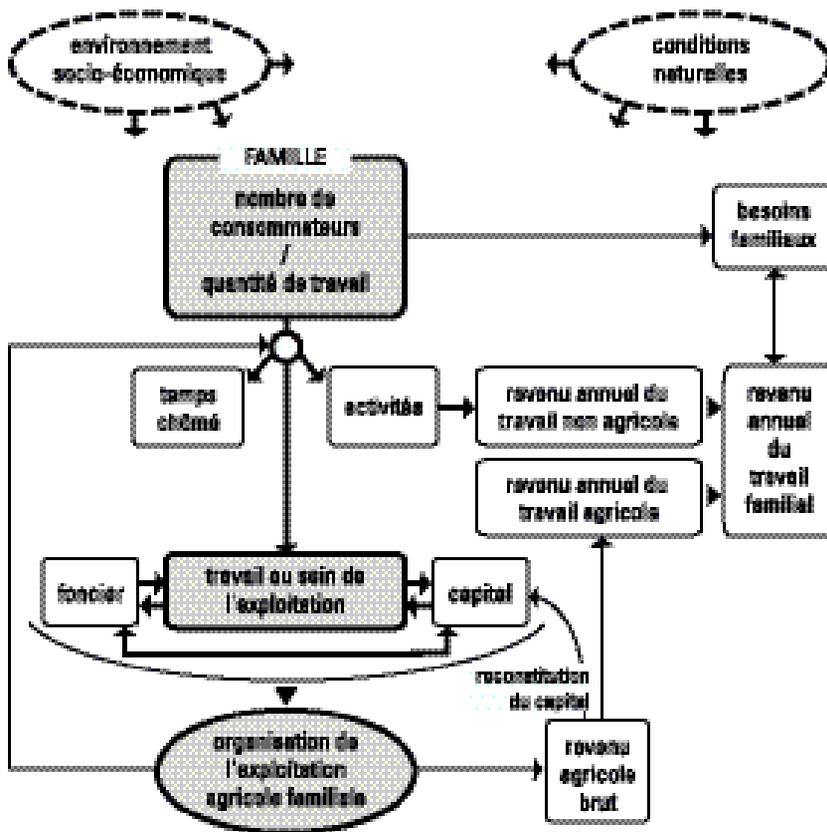
Alexandre Chayanov, économiste russe du début du siècle, est certainement celui qui a formalisé de la manière la plus limpide l'effet du cycle familial sur le fonctionnement des exploitations. Le cycle familial se caractérise principalement par l'évolution du ratio «nombre de bouches à nourrir/quantité de travail disponible» au sein de la famille. En situation où le foncier n'est pas bloqué, c'est-à-dire où la surface de l'exploitation peut varier relativement facilement (cas de figure considéré par Chayanov), ce ratio détermine, à un instant donné les performances de l'exploitation et le niveau de vie de la famille.

Lors de l'établissement d'une exploitation familiale, ce ratio est faible car la famille de l'exploitant est peu nombreuse (couple sans enfants). L'activité de l'exploitation sera tournée vers l'investissement productif. L'objectif de l'exploitant sera d'augmenter le plus rapidement possible son capital d'exploitation. Mais une telle période ne dure pas longtemps.

Au fur et à mesure que des enfants naissent et que le travail consacré à leur entretien augmente, le ratio «bouches à nourrir/quantité de travail disponible» augmente. C'est une période difficile pour l'exploitant, qui doit assurer un revenu suffisant pour sa famille alors qu'il n'a pas eu le temps de beaucoup accroître son capital d'exploitation.

Puis, avec le temps, les nouvelles naissances s'arrêtent et les enfants grandissent. Dans la Russie du début du xx^e siècle, le taux de scolarisation était fort bas, surtout en milieu rural. Cette période du cycle familial correspond donc, dans le modèle de Chayanov, à une diminution rapide du ratio. La force de travail augmente, ce qui permet à l'exploitant de cultiver plus de terres et donc d'accroître ses revenus et son capital d'exploitation. C'est une phase d'accumulation pendant laquelle les revenus de l'exploitation ainsi que son capital augmentent.

La phase suivante du cycle voit le départ progressif des enfants qui s'installent à leur tour et établissent de nouvelles exploitations. Le capital accumulé pendant la phase précédente est alors partagé selon des modalités propres à chaque société. L'exploitation de départ se trouve réduite à la taille nécessaire à la survie des parents, quand ceux-ci ne sont pas tout bonnement intégrés au foyer d'un des enfants.



► Figure 1 : L'organisation de l'exploitation agricole (d'après Chayanov)

Bien entendu, ce modèle ne s'applique pas forcément dans son intégralité à toutes les situations. Il est notamment peu adapté aux sociétés dont l'organisation ne repose pas sur la famille nucléaire. Il n'en reste pas moins que la variation au cours du temps du ratio «nombre de bouches à nourrir/force de travail» demeure dans la plupart des cas une clef de compréhension de la diversité et des trajectoires des exploitations dans un espace donné.

Une autre contribution marquante des travaux de Chayanov réside dans la prise en compte des activités extérieures du foyer paysan. La quantité de travail consacrée à l'exploitation est égale à la différence entre la quantité totale de travail disponible et la quantité de travail à l'extérieur. Il s'agit donc d'une résultante, elle-même affectée par le cycle de la famille. Pendant la phase de diminution du ratio «bouches à nourrir/force de travail», si les possibilités d'augmentation du capital d'exploitation sont limitées, alors une proportion croissante de la force de travail sera consacrée à des activités extérieures à l'exploitation. Si cela même est impossible, alors le temps chômé augmentera.

● **Les stratégies patrimoniales**

Comme on le voit, l'analyse de l'exploitation agricole familiale demande de prendre en compte les aspects sociaux et humains liés à la vie des familles. En particulier, il importe de faire le plus grand cas des objectifs que s'assigne la famille, à l'intérieur du contexte économique et social dans lequel elle évolue. Les logiques familiales ne sont pas toujours conformes aux logiques prévalant pour la gestion d'une entreprise. Ainsi, les contraintes du cycle familial poussent les exploitants à accumuler le plus de capital possible en vue d'un partage ultérieur entre les enfants. Même dans les sociétés où les pratiques d'héritage sont plus complexes, les préoccupations concernant la transmission du capital d'exploitation d'une génération à l'autre sont permanentes. Elles se traduisent par ce que l'on appelle des logiques patrimoniales.

● **Accumuler et transmettre le capital d'exploitation**

Ces stratégies s'appliquent au capital d'exploitation pendant les phases d'accumulation et de transmission d'une génération à l'autre. Ainsi, même si un tel comportement ne correspond pas à l'optimum économique de court terme, l'exploitant pourra chercher à accumuler du capital d'exploitation non pas tant pour augmenter ses revenus immédiats que dans une perspective de transmission à la génération suivante.

Aux objectifs de court terme, liés à l'augmentation des revenus, s'entremêlent donc souvent des objectifs de long terme visant à augmenter le patrimoine de la famille, ce qui peut parfois compliquer l'analyse du comportement des exploitants agricoles. En outre, les stratégies patrimoniales mises en œuvre par les familles paysannes d'un espace géographique donné aboutissent souvent à des conflits alimentés par les comportements d'accumulation. Ainsi la concurrence pour l'accès aux terres, aux ressources fourragères ou à l'eau pour abreuver les animaux peut provoquer des tensions dans les zones où ces ressources deviennent rares.

L'arbitrage de ces conflits, qui, tout comme les stratégies patrimoniales elles-mêmes, peuvent s'étaler sur plusieurs générations, demande que des dispositifs de régulation soient mis en place. C'est lorsque de telles régulations deviennent inopérantes qu'une situation de crise peut apparaître.

À l'inverse, les stratégies patrimoniales peuvent aussi conduire à des alliances entre familles, intervenant lors des mariages, matérialisées par des transferts de capital d'une famille à l'autre, sous forme de dot. Les mariages croisés entre familles et les héritages inégalitaires favorisant un des fils sont des stratégies classiques de préservation ou de concentration du patrimoine.

● **Accroître les surfaces, améliorer la fertilité**

En matière de foncier, les stratégies patrimoniales ne visent pas uniquement à accroître les surfaces en propriété, mais aussi à améliorer, sur le long terme, la fertilité des terres. Lorsque la transmission du patrimoine foncier est un enjeu important, l'exploitant pourra consacrer beaucoup d'efforts et de ressources à bonifier les terres de son exploitation, par des amendements ou par des aménagements hydrauliques : drainage, irrigation. Il veillera particulièrement à ce que les restitutions au sol soient suffisantes pour maintenir, ou mieux, augmenter progressivement sa fertilité. Ainsi, chaque cycle cultural constitue, dans cette perspective, un investissement visant à améliorer la qualité des terres. La fertilité des sols doit donc être considérée non pas comme une donnée naturelle mais comme un construit humain. Elle constitue en elle-même une partie importante du capital foncier d'une exploitation et du patrimoine de la famille.

De telles logiques patrimoniales sur le sol ne peuvent s'exprimer que si la tenure foncière est assurée sur le long terme. Si l'environnement juridique ou les circonstances socio-économiques sont tels que la tenure foncière est incertaine, alors le comportement des familles paysannes sera exactement inverse. Il visera une exploitation minière des sols, ne consacrant aucun effort ni aucune ressource à l'entretien de leur fertilité.

● **Les limites du modèle de l'exploitation familiale**

Le modèle de l'exploitation familiale rend bien compte de la réalité lorsque l'organisation du travail, la consommation et les stratégies patrimoniales opèrent au sein de la même unité : la famille nucléaire ou élargie à une génération dont le chef représente le principal centre de décision. Mais il existe de nombreuses sociétés dans lesquelles l'unité d'organisation du travail familial (l'unité de production), l'unité de consommation et l'unité d'accumulation (ou de transmission patrimoniale) ne coïncident pas. Au sein de telles sociétés et des familles qui les composent, les différentes fonctions de production et de reproduction ne se recouvrent pas forcément. Parmi les nombreux travaux qui traitent de ces questions, ceux de G. Ancey¹ et de J.M. Gastellu² sont les plus souvent cités.

Ainsi, dans de nombreux cas, l'exploitation familiale n'a pas de réalité économique et sociale. Il faut distinguer, au sein des groupes familiaux, des unités économiques de différentes natures et qui ne coïncident pas forcément.

1 ANCEY, G. 1975, *Niveaux de décision et fonction objectif en milieu rural africain*, AMIRA note n° 3.

2 GASTELLU, J.M. 1978. Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? AAMIRA note n° 26. Le choix d'une unité.

● Les unités économiques

On distingue souvent :

- > *l'unité de production* (UP), qui est l'unité fondamentale de l'analyse économique. Elle est définie par le groupe d'individus qui contribuent à la fourniture du produit, sous la responsabilité d'un même chef de communauté, le chef d'UP. Celui-ci prend les principales décisions quant au choix des cultures, à l'organisation du travail agricole et à la gestion de la force de travail ;
- > *les unités de consommation* (UC) qui regroupent les individus consommant la nourriture préparée à partir de la production de l'UP. Le centre de décision principal d'une UC gère le grenier.

Le plus souvent UP et UC se superposent, cette dernière comprenant de plus les inactifs.

L'exemple des Bamiléké au Cameroun

Au Cameroun, en pays Bamiléké, UP et UC ne coïncident pas. Au sein des familles polygames, chaque épouse est à la tête d'une UC qui, outre elle-même, comprend ses enfants. L'époux est nourri à tour de rôle par chaque UC. Le grenier de chaque UC est géré par une des épouses et abrite la récolte des champs vivriers qui lui sont attribués par l'époux. L'UP est dirigée par l'époux qui attribue les parcelles aux différentes épouses et organise le travail dans les champs caféiers dont les revenus lui reviennent. Chaque épouse conserve le contrôle de la récolte obtenue sur les parcelles qui lui sont attribuées et participe aux travaux dans les champs caféiers. Les cultures vivrières associées au café sont elles mêmes attribuées aux différentes épouses par le chef d'UP.

Une partie du produit sert à accumuler des biens durables (bétail, or etc.) ou à alimenter des échanges dans les réseaux d'alliances, matrimoniales en particulier. La constitution, l'augmentation et la transmission du patrimoine familial se réalise au sein d'une *unité d'accumulation* (UA) qui peut être distincte de l'UP/UC, en particulier en cas de régime matrilineaire où les différents biens sont transmis selon des voies différentes (la terre en lignée maternelle et le matériel de culture en voie paternelle par exemple).

- > *l'unité de résidence* (UR). L'UR désigne le lieu physique où réside la parenté, plus ou moins élargie, et qui revêt, selon les sociétés, une taille démographique variable. Il ne s'agit pas à proprement parler d'une unité économique, mais l'UR sert souvent de repère géographique pour identifier les unités économiques pertinentes (UP ou UC).

Exemples de différentes combinaisons UP, UC et UR

En Afrique de l'Ouest, les combinaisons entre UP, UC et UR sont variables : ainsi, en pays soninké, le modèle dominant était la grande famille élargie, avec superposition de l'UR (la concession), de l'UP (gérée par le patriarche, qui contrôle l'ensemble de la production vivrière) et de l'UC (une seule cuisine, même si les femmes préparaient le repas à tour de rôle). Avec l'émancipation des captifs, et la fragmentation des groupes familiaux, on a vu apparaître, à côté des grandes UP de plusieurs dizaines de personnes, des unités plus petites. Parfois plusieurs UP (et plusieurs cuisines) coexistent au sein d'une même UR, mais il n'y a pas de terme spécifique pour les désigner. Non loin de là, en pays haalpular, l'UR (le galle) n'est pas une unité économique. Chaque ménage polygame (foyre = foyer) est autonome dans la production agricole et dans la consommation. Dans un même «galle», il y a autant de cuisines que de foyers.

● Différents statuts familiaux

L'éclatement du concept d'exploitation familiale en différentes unités économiques résulte de la complexité des différents statuts familiaux et des rapports sociaux à l'intérieur des familles. D'autant plus que l'on a affaire à des structures familiales larges, comprenant de nombreux individus liés par des relations de dépendance imbriquées.

Les différents statuts familiaux peuvent se réduire à quatre catégories principales : les aînés, les femmes, les cadets et les dépendants. Chaque individu dispose au sein de la famille d'un certain degré d'autonomie qui se traduit par le fait qu'il peut disposer d'un budget propre. Le problème est dès lors d'identifier les logiques d'acteurs et d'analyser comment elles se répercutent sur le fonctionnement concret des exploitations. Par exemple, les cadets, qui sont des individus masculins n'ayant ni la responsabilité d'une UP ni celle d'un grenier collectif, sont en général portés sur la perception de revenus monétaires, seul moyen pour eux de trouver une assise dans le milieu. Les femmes cherchent également à se préserver une sphère d'autonomie, ce qui signifie souvent pour elles la maîtrise de champs personnels consacrés à des cultures pour la vente ainsi que la pratique de petits commerces.

L'aîné (chef d'UP), quant à lui, est le garant de la cohésion de la communauté familiale. Souvent, il doit veiller au maintien d'un niveau suffisant de réserves alimentaires et à la satisfaction de certaines consommations socialement impératives : cérémonies diverses, baptêmes, mariages, funérailles, etc. Il est en outre dépositaire des droits fonciers qu'il doit préserver.

Ainsi, on le voit, la diversité des modes d'organisation familiale résulte aussi d'une diversité des modes d'appropriation foncière et des modes de valorisation du travail. Le chef d'UP, dépositaire des droits fonciers, veille à leur respect. En Afrique soudanohésérienne, il contrôle directement les grands champs communautaires et attribue certaines parcelles de l'UP aux différents membres de la famille ainsi qu'une partie des droits fonciers qui y sont associés. Il en résulte une imbrication des prérogatives foncières des membres de la famille, sous le contrôle du chef d'UP. De même, une partie du travail des cadets et des épouses sert à assurer la consommation du groupe familial dans son ensemble, alors que le reste de leur force de travail est consacré à la satisfaction de leurs besoins propres et de ceux de leurs dépendants.

Un exemple camerounais

En pays bamileké, chaque épouse dispose d'une sécurité de tenure assez forte sur les parcelles qui lui sont attribuées et dont elle a l'usufruit. Cette sécurité peut néanmoins être remise en cause lorsque le chef d'UP prend une nouvelle épouse. Le travail de chaque épouse et de ses enfants se partage entre l'exploitation des parcelles qui lui sont attribuées et la contribution aux productions contrôlées par le chef d'UP (le café en l'occurrence). S'il lui reste encore du temps, l'épouse le consacrerà à des activités lucratives dont elle conservera l'intégralité des revenus.

● L'exploitation agricole dans son contexte

Tout ce qui précède relève d'une approche économique de l'exploitation agricole. Nous avons vu comment les facteurs humains interfèrent avec le fonctionnement économique des exploitations familiales.

De leur prise en compte résultent les différents points de vue pour décrire l'exploitation familiale : entreprise agricole ou entité économique indissociablement liée au foyer, outil de production ou patrimoine transmissible d'une génération à l'autre, unité économique comprenant des sous-unités aux fonctions différentes, etc. Les stratégies de production ne se comprennent que par rapport à des stratégies de reproduction économique et sociale. Elles trouvent leur cohérence par rapport à elles.

Il importe de bien garder à l'esprit que le fonctionnement de l'exploitation agricole ne revêt pas qu'une dimension économique. L'analyse du comportement des êtres humains ne peut se limiter à leur dimension d'*homo economicus*. On a déjà mentionné qu'à l'intérieur des exploitations familiales, surtout dans les sociétés structurées autour de familles élargies dont les membres possèdent des statuts complexes et différenciés, les comportements des individus visent parfois à asseoir leur place dans la société. Ils ne peuvent se réduire à des logiques économiques. Par exemple, le chef d'UP veillera en priorité à ce que certaines dépenses socialement obligatoires soient effectuées. Fût-ce au détriment des capacités d'accumulation de l'exploitation. Il a déjà été beaucoup écrit sur les dépenses somptuaires occasionnées par les funérailles en de très nombreux endroits du monde. Elles rentrent dans des jeux complexes d'échanges dépassant le cadre de l'exploitation et connectant les vivants au monde des défunts.

De même, si l'on considère une petite région et l'ensemble des exploitations familiales qui s'y trouvent, on s'aperçoit que les stratégies familiales interagissent et se manifestent par des comportements dépassant la sphère purement économique. Ces comportements révèlent souvent des stratégies de domination ou le jeu des systèmes d'appartenance. Ils peuvent engendrer des processus de différenciation ou bien des phénomènes d'interdépendance entre différents groupes. Ils peuvent aussi parfois être induits ou renforcés par la politique des Etats.

Au Vietnam

Depuis un siècle, sur les hauts plateaux du centre du Vietnam, de fortes migrations de l'ethnie dominante, les Kinh, ont été à l'origine d'une déforestation accélérée et de la dépossession des ethnies autochtones de leurs terres. Ces phénomènes sont à l'origine d'un boom caféier : la forêt est abattue pour faire place à des plantations de café robusta. La différenciation sociale entre groupes qui ont bénéficié du boom caféier et groupes marginalisés est très forte. Une telle situation aboutit à la précarisation des groupes autochtones, rejetés sur une portion marginale et restreinte du territoire, alors qu'elles pratiquaient une agriculture de défriche brûlée complétée par la chasse et l'exploitation des espaces forestiers.

Ces dynamiques peuvent s'analyser comme la résultante d'une politique de migration organisée par l'Etat, afin d'affermir son contrôle sur une zone périphérique du territoire national, à la population mouvante et peu stabilisée. À un niveau différent, ces processus peuvent aussi s'analyser comme le choc de deux cultures. Les Kinh, d'une part, riziculteurs provenant de zones de delta, pour lesquels la forêt constitue un domaine sauvage, menaçant, rempli de forces malfaisantes qu'il convient de conquérir. Les populations autochtones d'autre part, pour qui la forêt constitue aussi un milieu potentiellement dangereux, mais avec qui il convient de composer de manière à en tirer les éléments nécessaires à leur subsistance. De ces deux conceptions opposées d'un même espace résulte un comportement de domination d'un groupe sur l'autre, comportement encouragé par l'Etat et alimenté par les mécanismes économiques liés au boom caféier.

LA DIVERSITÉ DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

● Les typologies d'exploitation agricole

● La diversité des agriculteurs

Il convient de ne pas considérer les agriculteurs comme un ensemble homogène à qui on pourrait proposer des solutions passe partout. La réalité est souvent beaucoup plus complexe : les agriculteurs d'une même région ne disposent pas tous des mêmes moyens et ne produisent pas nécessairement dans les mêmes conditions économiques et sociales. Pour élever leur niveau de vie et reproduire au mieux leurs conditions de production, les diverses catégories d'exploitants d'une même zone agro-écologique peuvent avoir intérêt à mettre en œuvre des systèmes de culture et d'élevage fort différents, avec une très grande gamme de techniques agricoles. Il importe donc de concevoir et mettre en œuvre des interventions appropriées aux moyens, conditions et intérêts de chacune des catégories d'exploitants.

● Aucune technique n'est bonne dans l'absolu

L'expérience acquise au cours de nombreux projets de développement rural montre qu'il ne peut y avoir d'interventions efficaces sur l'agriculture d'une région sans prise en compte de la diversité des exploitations agricoles. Trop de projets fondés sur la vulgarisation d'un nombre limité de paquets techniques standards ont lamentablement échoué car l'uniformité des informations apportées aux différents exploitants ne pouvait guère convenir à la diversité de leurs situations.

L'échec des projets provient souvent du fait que l'on ne tient pas suffisamment compte de la variété des besoins et des problèmes des différentes catégories d'exploitants au cours de la formulation des opérations et tout au long de leur mise en œuvre. Les techniques et formes d'organisation proposées aux agriculteurs proviennent plus souvent *d'a priori* non démontrés que d'une compréhension rigoureuse de la réalité. L'emploi fréquent de jugements de valeur prononcés implicitement dans l'absolu, sans considération pour les divers intérêts en présence, est une parfaite illustration de la subjectivité dont font encore preuve aujourd'hui de nombreux agronomes et techniciens agricoles.

L'élaboration d'une typologie des exploitations agricoles s'avère donc être une étape importante de l'analyse-diagnostic préalable à la conception des projets : son objectif est de mettre en évidence *les différentes catégories d'exploitants* impliquées dans le développement agricole, les moyens de production et d'échange dont elles disposent, les conditions socio-économiques dans lesquelles elles travaillent, leurs différents intérêts, et les conséquences qui en résultent sur *la diversité des systèmes de production agricole pratiqués*. La typologie doit permettre aux agents de développement de comprendre les raisons d'être des divers systèmes de production mis en œuvre par les agriculteurs et de moduler leurs interventions en fonction des différentes catégories d'exploitants. Il serait absurde de leur proposer des opérations qui ne correspondent pas à leurs intérêts ou pour lesquelles ils ne peuvent pas avoir accès aux moyens matériels et financiers nécessaires.

● **La diversité des exploitations**

Tout le monde s'accorde aujourd'hui à reconnaître le bien fondé des typologies d'exploitations agricoles pour la définition des projets de développement rural. Le problème n'en reste pas moins de savoir d'après quels critères il peut être le plus utile de classer les différentes catégories d'exploitations. La difficulté réside principalement dans la multitude et la diversité des éléments susceptibles de conditionner le comportement des agriculteurs : leur âge, leur expérience, l'importance des ressources dont ils disposent, les conditions socio-économiques dans le cadre desquelles ils opèrent, etc.

● **La taille de l'exploitation et les ressources disponibles**

Il est fréquent de ranger les exploitations d'après l'importance de leurs ressources disponibles : terrains, force de travail, matériels, infrastructures, cheptel vif, etc. Les informations relatives à ces éléments sont, en effet, faciles à recueillir. Il se peut même que leur collecte ait déjà eu lieu à plusieurs reprises, grâce aux recensements effectués par les institutions responsables des statistiques.

● **La superficie**

Le regroupement des exploitations par classe de superficie reste encore une pratique très commune. Ainsi distingue-t-on parfois des exploitations minifundiaires, petites, moyennes, grandes et latifundiaires selon que les surfaces exploitées apparaissent minuscules, faibles, moyennes, grandes ou immenses.

Mais on voit bien les insuffisances d'une telle classification. Les surfaces d'une même petite région (et parfois d'une même exploitation) peuvent présenter des qualités très différentes les unes des autres et ne pas avoir les mêmes aptitudes. Leur mise en valeur peut dépendre aussi des autres ressources disponibles dans l'exploitation : main d'œuvre, moyens de traction, outils de travail du sol, infrastructures d'irrigation et de drainage, plantations déjà en place, etc.

● **Le capital**

La taille économique d'une exploitation n'est donc généralement que très imparfaitement appréciée par le biais de la seule mesure de son étendue en hectares. C'est pourquoi on s'efforce généralement de prendre en compte l'ensemble des immobilisations de capital fixe et d'en mesurer la valeur totale. On peut alors classer les exploitations d'après le montant total de capital accumulé en leur sein.

Il n'est pas rare d'observer une corrélation étroite entre ce degré de capitalisation et le niveau de la productivité du travail obtenue par les agriculteurs. Une exploitation où les producteurs n'ont accès qu'à des outils manuels procure presque toujours une rémunération des exploitants bien inférieure à celle que l'on peut observer quand ont eu lieu de gros investissements en intrants et équipements. Il va de soi que le montant des investissements ne peut pas, non plus, à lui seul, expliquer les raisons pour lesquelles les exploitants mettent en œuvre des systèmes de production différents. Les systèmes de culture et d'élevage pratiqués dépendent aussi très largement de la nature des équipements dont ont été dotées les unités de production. Les exploitants peuvent avoir intérêt à les utiliser au mieux afin d'amortir au plus vite les investissements déjà réalisés.

● **L'importance des divers moyens de production**

Les systèmes de production agricole ne sont pas seulement conditionnés par le montant total des moyens accumulés ou disponibles dans les exploitations mais aussi par l'importance relative de chacun d'entre eux. Les producteurs peuvent avoir en effet intérêt à valoriser au mieux les ressources dont ils disposent en relativement moins grande quantité, en tenant soigneusement compte des résultats qu'ils pourraient obtenir en les affectant à divers emplois alternatifs, quitte à recourir abondamment aux ressources dont les coûts d'opportunité³ sont les plus faibles. L'accumulation du capital au sein des exploitations peut servir selon les cas à mettre en place des systèmes de production plus ou moins intensifs.

Il est souvent utile d'apporter une attention particulière au rapport entre les quantités de force de travail et de terrains disponibles dans l'exploitation : selon sa valeur, les agriculteurs ont intérêt à mettre en place des systèmes intensifs ou des systèmes extensifs.

En cas de main d'œuvre abondante

Lorsque la main-d'œuvre est une ressource particulièrement abondante, eu égard aux surfaces de terrains accessibles, et qu'elle ne bénéficie d'aucune autre occasion d'emplois rémunérateurs à l'extérieur, les exploitants peuvent avoir intérêt à pratiquer des systèmes de production très intensifs en travail de façon à produire un maximum de valeur ajoutée par unité de surface. Ainsi s'expliquent souvent les systèmes associant très étroitement polyculture et élevage, avec des productions exigeant beaucoup de soins mais hautement rémunératrices : légumes, lait, miel, fruits, céréales et légumineuses en association, tubercules, etc.

Ces systèmes sont conduits de façon à produire le maximum de valeur ajoutée sur les faibles surfaces disponibles. Ils utilisent au mieux les processus biologiques susceptibles de valoriser en priorité les ressources naturelles : photosynthèse, fixation biologique de l'azote, pollinisation par les abeilles, etc. Ils recyclent à chaque fois les résidus de chacun des systèmes de culture et d'élevage : chaumes de céréales, fanes de légumineuses, fumier, etc. Tout cela exige bien évidemment beaucoup de travail à l'hectare, mais l'abondante main-d'œuvre pour laquelle il n'existe pas d'autres opportunités de revenus a de toute évidence intérêt à le fournir pour accroître ses revenus.

En cas de force de travail rare

Si la force de travail est relativement rare par rapport aux superficies exploitables, ou s'il existe des opportunités d'emplois rémunérés en dehors des exploitations, on observe des systèmes de production beaucoup plus extensifs en travail (et donc parfois beaucoup plus mécanisés). De tels systèmes procurent souvent de moindres valeurs ajoutées à l'hectare mais ils sont conçus de façon à procurer une rémunération du travail supérieure ou égale à celles qu'il serait possible d'obtenir avec les autres utilisations alternatives de la même main d'œuvre, au sein ou à l'extérieur des exploitations. Il peut ne pas être intéressant d'accroître les rendements à l'unité de surface si la force de travail utilisée à cette fin peut être employée plus efficacement à l'élargissement des surfaces exploitées ou bénéficie d'emplois salariés mieux rémunérés par ailleurs.

³ Le coût d'opportunité d'une ressource est égal au revenu que cette ressource serait susceptible de procurer si elle était employée par une autre activité.

Ainsi s'expliquent généralement les systèmes de production extensifs, avec cultures sur abattis-brûlis en rotation avec des friches de relativement longue durée, dans les régions de faible densité démographique où les surfaces disponibles par travailleur sont encore très abondantes. De tels systèmes requièrent beaucoup d'espace. Ils ne permettent souvent pas de produire de fortes valeurs ajoutées annuelles à l'hectare. Mais ils sont peu exigeants en travail à l'unité de surface et fournissent donc des revenus par jour de travail supérieurs à ceux qu'auraient procurés des systèmes plus intensifs.

La question qui se pose fréquemment est de savoir si les exploitants disposent du capital nécessaire pour bien mettre à profit ces systèmes de production plus ou moins intensifs en travail. Les exploitants qui ne disposent que d'une surface extrêmement réduite par travailleur sont souvent très pauvres. Ils ne peuvent donc pas facilement acheter les intrants qui leur seraient nécessaires pour valoriser au mieux leurs systèmes intensifs en travail.

Seuls ceux qui en ont les moyens mettent en œuvre les systèmes de production qui ont la particularité d'être très intensifs en intrants : maraîchage, élevage hors sol, etc. À l'opposé, les grands propriétaires fonciers, qui ne travaillent pas directement eux-mêmes dans leurs exploitations, disposent souvent des capitaux nécessaires à la mise en œuvre de systèmes de production intensifs et exigeants en intrants. Ils n'ont pas toujours intérêt à le faire s'il existe des opportunités de placements plus lucratifs en dehors de leurs exploitations : investissements dans la spéculation immobilière, le commerce, le tourisme, etc.

● **Les conditions socio-économiques**

Les conditions écologiques et la disponibilité en ressources ne sont pas les seuls éléments pris en compte lorsque les exploitants choisissent et mettent en œuvre leurs systèmes de production agricole. Les considérations relatives à l'environnement économique et social pèsent aussi d'un grand poids dans leurs décisions. Les exploitants agricoles ne produisent jamais de façon isolée, mais entretiennent en permanence des relations avec d'autres agents économiques : agriculteurs voisins, propriétaires fonciers, commerçants, usuriers, artisans, transporteurs, industries agro-alimentaires, banques, administrations, fonctionnaires de l'État, etc. De toute évidence, ces rapports sociaux influencent le choix des systèmes de culture et d'élevage pratiqués par les agriculteurs et les résultats économiques obtenus dans les exploitations.

● **Leur caractère variable**

Les exploitants agricoles d'une même région ne produisent pas tous nécessairement dans les mêmes conditions économiques et sociales. La rentabilité des systèmes de production peut alors prendre des significations très différentes selon ces conditions. Les critères utilisés pour mesurer l'intérêt que les agriculteurs peuvent porter à l'emploi de différentes techniques varient en effet très fortement selon les rapports de production et d'échange dans lesquels ils opèrent.

Du point de vue des agents de développement, il peut donc être utile de classer les exploitants par grands groupes d'intérêt, compte tenu des conditions économiques et sociales dans lesquelles travaille chacun d'eux. Les conditions les plus susceptibles de conditionner leur choix sont celles relatives à la tenure foncière, aux modes de faire-valoir, au crédit agricole, à l'approvisionnement en intrants, matériels et pièces de

rechange, au marché de la force de travail, à l'existence d'infrastructures, aux règlements phytosanitaires et vétérinaires, à la commercialisation des produits agricoles, aux éventuelles fluctuations de prix, etc.

● **L'inégalité face aux aléas**

Face aux aléas d'ordres climatique, sanitaire et économique, les agriculteurs peuvent ne pas avoir tous intérêt à prendre des risques identiques : un même accident peut être sans conséquence grave pour les exploitants les plus aisés, mais se révéler dramatiques pour les paysans les plus pauvres. Les exploitants qui travaillent dans des conditions aléatoires et de très grande précarité économique peuvent avoir intérêt à ne pas vouloir maximiser à tout prix leur espérance mathématique de production ou de revenu.

Les producteurs déjà fortement endettés pour les besoins de leur consommation n'ont pas intérêt à s'endetter davantage pour acheter les intrants et matériels pour mettre en œuvre des systèmes de production dont les résultats peuvent être très élevés, en moyenne, mais avec des variations très importantes d'une année à l'autre. Le danger serait de ne pas pouvoir rembourser les emprunts à la suite d'une très mauvaise récolte, de devoir vendre les derniers biens disponibles et de ne plus pouvoir pratiquer l'agriculture en tant qu'exploitants indépendants. Ces exploitants s'efforcent donc de minimiser la probabilité de très faibles résultats en pratiquant des systèmes de production qui ne procurent pas des revenus moyens très élevés mais qui leur permettent d'obtenir tous les ans des revenus supérieurs à un certain seuil.

C'est pour minimiser les risques de très mauvaises récoltes que de nombreux paysans pauvres et endettés s'efforcent d'associer dans leurs exploitations (et parfois même sur les mêmes champs) plusieurs espèces et variétés végétales très différentes du point de vue de leur comportement physiologique. Toutes les plantes n'étant pas affectées de la même façon par les aléas climatiques et phytosanitaires, l'exploitant peut toujours espérer récolter quelque chose sur ses parcelles et diminuer ainsi le risque de n'avoir aucun revenu, quelles que soient les fluctuations des conditions écologiques et économiques. C'est aussi pourquoi certains agriculteurs entreprennent de cultiver des champs parfois très éloignés les uns des autres, dispersés dans des conditions écologiques fort différentes. Cette pratique vise pour l'essentiel à diminuer la probabilité de ne rien avoir à récolter sur l'ensemble des surfaces disponibles.

● **Les inégalités foncières**

Les exploitants agricoles qui ne parviennent à accéder au foncier que pour de courtes périodes, n'ont souvent pas intérêt à réaliser des investissements à rentabilité différée⁴, sachant qu'ils n'ont pas la certitude de pouvoir bénéficier de leurs résultats à long terme. Pourquoi implanter des arbres fourragers si les chèvres du voisinage peuvent rapidement les détruire lors de leurs passages en vaine pâture ? Pourquoi entretenir les diguettes d'une rizière dont on est locataire pour une seule saison de culture ? L'expérience montre que pour être incités à mettre en œuvre les systèmes de production les plus favorables au maintien des potentialités productives des écosystèmes, les agriculteurs doivent bénéficier d'une relative sécurité sur leurs droits au foncier.

⁴ Fumure de redressement, plantations d'arbres, aménagements de défense et restauration des eaux et des sols, etc.

Le poids de la rente foncière et ses modalités de paiement peuvent aussi fortement conditionner le choix des techniques agricoles et le degré d'intensification des systèmes de culture et d'élevage. Le prélèvement d'un fermage fixe à l'hectare, indépendant des rendements obtenus, peut inciter les exploitants à mettre en place des systèmes intensifs en travail et en intrants. En effet, s'ils produisent davantage que le montant nécessaire au paiement du loyer, les productions supplémentaires leur reviennent ensuite en totalité. Mais, cette pratique du fermage n'est pas sans risque pour le producteur s'il ne peut pas payer le loyer au propriétaire en cas d'accidents climatiques et de bas rendements.

La formule du métayage avec paiement d'une rente proportionnelle aux rendements permet de partager les risques inhérents à l'obtention de très mauvaises récoltes entre les deux parties. Si, par suite d'un accident, la récolte se révèle nulle, le métayer n'aura en effet rien à payer à son propriétaire. Mais elle peut dissuader le métayer d'intensifier son système de production et de recourir à des intrants achetés, si le propriétaire ne participe pas au paiement des consommations intermédiaires. Les recettes supplémentaires obtenues par les métayers grâce à l'utilisation accrue d'intrants peuvent, en effet, ne pas couvrir le coût de ces intrants, une fois la récolte partagée avec le propriétaire.

● **Un exemple de typologie**

● **Quelle diversité mettre en évidence ?**

La multiplicité des facteurs et conditions susceptibles d'interférer dans le choix et l'évolution des systèmes de production agricole fait qu'il n'est pas possible de proposer un modèle unique pour la réalisation des typologies d'exploitations. Toutes les classifications revêtent inévitablement un caractère réducteur et ne sauraient donc pas rendre compte totalement des différences entre exploitations. Mais l'important est de parvenir à chaque fois à une typologie qui soit la plus opérationnelle possible pour la définition et la mise en œuvre d'interventions adaptées aux conditions de production de chacune des catégories d'agriculteurs.

Les projets de développement ont généralement pour objectif de créer des conditions telles que les exploitants agricoles ont intérêt à mettre en œuvre les systèmes de production les plus conformes à l'intérêt général et en ont les moyens. Il semble donc logique de privilégier les typologies qui mettent principalement en évidence ces différences de moyens et d'intérêt. Le point fondamental à ne jamais oublier, du point de vue opérationnel, est qu'il serait absurde de proposer des solutions qui aillent à l'encontre de l'intérêt des agriculteurs ou pour lesquelles ils ne disposeraient pas des moyens nécessaires à leur mise en œuvre.

● **Analyser la diversité des intérêts**

S'il est relativement aisé de mesurer les inégalités en ce qui concerne la quantité de moyens⁵ dont disposent les uns et les autres, il apparaît beaucoup plus difficile

⁵ Ces moyens ne sont pas seulement matériels. Ils incluent bien évidemment les informations, savoir-faire et expériences accumulés par les exploitants au cours de leur vie professionnelle.

d'apprécier objectivement les différences d'intérêt⁶ entre groupes d'agriculteurs. Ces différences résultent non seulement des inégales quantités de ressources dont ils disposent, mais aussi de la diversité des conditions économiques et sociales dans lesquelles ils doivent travailler. Il apparaît pertinent de prendre en compte les trois hypothèses⁷ suivantes :

- > les exploitants ont d'autant plus intérêt à spécialiser leurs activités vers la fourniture de marchandises destinées à la vente que les rapports d'échanges sont justes et stables. Ils peuvent avoir intérêt au contraire à produire une grande part des biens destinés à leur autoconsommation familiale lorsque les conditions du marché sont injustes et fluctuantes ;
- > les exploitants n'ont intérêt à maximiser l'espérance mathématique de leurs revenus que lorsque les conditions de production ne sont ni précaires ni aléatoires. Il est, au contraire, dans leur intérêt de minimiser les risques de très mauvais résultats lorsqu'ils travaillent dans des conditions de très grande vulnérabilité : endettement avec hypothèques, dépendance à l'égard des propriétaires fonciers, risques d'épizooties, etc.
- > les exploitants ont intérêt à valoriser le plus soigneusement possible les ressources dont ils disposent en relativement plus faible quantité, en tenant précisément compte des résultats qu'ils pourraient obtenir en les affectant à divers emplois alternatifs, quitte à recourir abondamment aux moyens de production dont les coûts d'opportunité sont très faibles ou nuls.

Ces hypothèses de rationalité économique partent du postulat selon lequel les exploitants ont de bonnes raisons de vouloir mettre en œuvre les systèmes de production les plus conformes à leurs intérêts. Elles n'excluent cependant pas le fait qu'à l'intérieur de chacun des types, certains individus puissent avoir des comportements aberrants ou suicidaires. Mais ces mêmes comportements les font très vite disparaître des groupes en question. Il est souvent facile de vérifier sur de grands effectifs que les exploitants qui travaillent dans des conditions similaires partagent globalement les mêmes intérêts et pratiquent des systèmes de production relativement semblables.

● Quand élaborer une typologie ?

Dans le cadre d'un travail plus global d'analyse d'un système agraire, l'élaboration des typologies d'exploitations ne peut intervenir qu'après le travail de zonage. Il importe, en effet, de pouvoir bien repérer à quels endroits les informations relatives aux diverses exploitations ont été recueillies. Elle doit, par contre, précéder la caractérisation fine des systèmes de production et de leurs problèmes. Il importe de n'étudier finement des systèmes de production qu'après avoir identifié de quelles exploitations ces systèmes sont représentatifs.

6 Nous préférons parler d'intérêt plutôt que d'objectifs, car le risque est de se satisfaire de vagues déclarations d'intention, dont certaines peuvent être complaisantes à l'égard des enquêteurs, et de projeter ensuite sur les agriculteurs des objectifs qui ne sont pas vraiment les leurs. Le recours à la notion d'intérêt nous oblige par contre à vérifier objectivement quels sont les éléments matériels qui conditionnent très concrètement les différences d'intérêt.

7 Ces hypothèses ne peuvent être considérées comme des faits toujours avérés mais doivent être bien sûr vérifiées ou infirmées à la lumière des observations et enquêtes préalables à la définition des projets.

● Les grands types d'exploitations

Au risque d'apparaître un peu réducteur, mais de façon à mettre surtout en évidence les différences de moyens et d'intérêts des exploitants, il semble pertinent de distinguer en premier lieu les divers types d'exploitations d'après l'importance et la nature du capital immobilisé, le degré et les modalités de leur intégration au marché, l'origine de la force de travail employée en leur sein et les opportunités d'emplois extérieurs. Les systèmes de production agricole sont, en effet, presque toujours étroitement corrélés avec ces conditions matérielles.

● *Les exploitations familiales minifundiaires*

Dans ces exploitations, les ressources disponibles et les systèmes de production mis en œuvre ne permettent pas d'assurer à eux seuls la survie des familles et le plein emploi de leurs membres. La main d'œuvre familiale est contrainte de chercher du travail à l'extérieur des exploitations. Les activités entreprises visent surtout à satisfaire l'autoconsommation familiale d'un certain nombre de produits alimentaires de première nécessité. Très souvent, la fonction économique première de ces exploitations minifundiaires est de fournir une force de travail à bon marché pour les autres secteurs de l'économie, ce qui ne veut pas dire pour autant, loin s'en faut, que la main d'œuvre disponible trouve toujours des emplois en quantité suffisante pour faire vivre correctement la famille.

● *Les exploitations familiales marchandes*

Dans ces exploitations, les systèmes de production pratiqués assurent le plein emploi de la force de travail des familles d'exploitants. Ils garantissent des revenus suffisants pour assurer la survie sans avoir à vendre systématiquement de la force de travail à l'extérieur. Il s'agit d'exploitations dans lesquelles les agriculteurs parviennent à produire des biens agricoles destinés pour une large part à la vente. Une partie plus ou moins importante de la production peut aussi servir à satisfaire les besoins de consommation des ménages. Les revenus monétaires peuvent non seulement couvrir les achats nécessaires au maintien et à l'augmentation du niveau de vie des familles mais permettent aussi de procéder au renouvellement et parfois à l'amélioration des équipements.

Le fait que l'essentiel de la force de travail investie dans l'exploitation soit familiale n'exclut pas le recours épisodique à de la main-d'œuvre saisonnière. Les responsables des exploitations familiales marchandes s'efforcent généralement de gérer au mieux la main d'œuvre disponible au sein de leurs familles, en tenant compte soigneusement des opportunités de travail extérieur. Quitte à mettre en place des systèmes de production agricole dans lesquels les pointes de travail n'entrent pas trop en concurrence avec les périodes au cours desquelles s'offrent des occasions d'emplois rémunérateurs en dehors de leurs exploitations. Mais il n'est jamais de l'intérêt des chefs d'exploitation de remplacer leur propre force de travail familiale par des machines tant que cette main d'œuvre ne dispose pas d'emplois suffisamment rémunérateurs en dehors de l'agriculture.

Dans une même région, ce type d'exploitation familiale peut présenter de très nombreuses variantes. Il est alors souvent utile de mettre en évidence plusieurs sous-types, d'après l'importance et la nature des immobilisations de capital fixe et les caractéristiques des systèmes de production agricole pratiqués en leur sein.

D'une façon générale, la survie des exploitations familiales marchandes suppose que les agriculteurs soient à même d'affronter la concurrence d'exploitations de plus en plus compétitives sur les marchés. Elle va donc nécessairement de paire avec une multiplication et une amélioration progressive des équipements.

Mais la capitalisation peut aussi prendre la forme d'un accroissement progressif de la taille des troupeaux et de la superficie des terrains. Les troupeaux de petits et gros ruminants représentent d'ailleurs fréquemment une forme privilégiée d'épargne. La vente d'animaux intervient lorsque les exploitants le jugent nécessaire, pour faire face aux accidents plus ou moins périodiques mais aussi en vue de procéder à de nouveaux investissements productifs : achat de terrains et de matériels, construction de bâtiments d'élevage, améliorations foncières, etc. Cette accumulation de capital ne signifie pas pour autant que ces exploitations perdent leur caractère familial.

● **Les exploitations patronales**

Dans ces exploitations, les systèmes de production mis en œuvre exigent une quantité de force de travail bien supérieure à celle que la seule famille de l'exploitant peut fournir. Il est alors nécessaire de recourir à l'emploi de main-d'œuvre extérieure, permanente et saisonnière, dont la rémunération peut prendre des formes très diverses : salaires en argent, rémunération en nature, concession d'un petit lopin, etc. Les chefs d'exploitations et leur famille vivent donc à la fois de leur propre travail et de celui de leurs employés.

● **Les exploitations capitalistes**

Dans les exploitations capitalistes, les propriétaires des moyens de production ne travaillent pas directement eux-mêmes et n'apportent que du capital. Ces exploitations sont dirigées le plus souvent par des gérants salariés dont la tâche est de conduire les systèmes de production qui maximisent la rentabilité des capitaux. La substitution éventuelle de la main d'œuvre salariée par des machines est généralement dépendante des gains de productivité et de l'évolution du rapport entre le prix des matériels et celui de la force de travail. Elle peut donc intervenir avant qu'il n'y ait des opportunités d'emplois à l'extérieur. Il n'est donc pas rare dans ces conditions d'observer des systèmes de production peu intensifs en travail dans des régions où sévit un chômage chronique. Les immenses ranchs d'élevage extensif de l'Amérique latine en sont la plus parfaite illustration.

● **Les méthodes d'élaboration de typologies**

Les typologies d'exploitations agricoles visent :

- > à classer les diverses exploitations agricoles d'une même région en un nombre limité de catégories relativement homogènes et contrastées ;
- > à expliquer leurs différences, de façon à ce que les interventions destinées aux exploitations d'un même type puissent être similaires entre elles et différentes de celles conçues pour les autres types.

Les méthodes pour réaliser des typologies d'exploitations agricoles dépendent des données existantes, de leur fiabilité et des moyens disponibles pour procéder à une collecte supplémentaire d'informations.

Celle-ci soulève des problèmes de choix des variables à observer ou mesurer, d'échantillonnage des exploitations sur lesquelles on envisage de faire des mesures et observations et de fiabilité des informations recueillies.

Deux grandes familles de méthodes d'élaboration des typologies d'exploitations peuvent être distinguées :

- > celles qui sont basées sur un recueil d'informations factuelles sur les exploitations. Les informations recueillies sont traitées pour mettre en évidence des relations entre variables ;
- > celles qui sont basées sur la recherche directe de relations entre variables.

Ces deux groupes de démarches seront présentés successivement, le deuxième étant illustré par l'analyse historique des mécanismes de différenciation.

● **Les méthodes basées sur le traitement de données factuelles**

Ces méthodes sont basées sur le traitement d'un grand nombre d'informations par des méthodes mathématiques d'analyse de données.

● **Les informations traitées**

Les caractéristiques structurelles :

- > les moyens de production, de transport et d'échange, disponibles dans les exploitations : les terrains, la main d'œuvre, les matériels fixes et roulants, les infrastructures, le cheptel vif, les plantations pérennes, le capital circulant, la trésorerie, etc.
- > les conditions socio-économiques de production : les modes de tenure foncière, les modalités d'accès aux différentes catégories de marchés pour l'approvisionnement en intrants et pour la commercialisation des produits agricoles, le recours éventuel à diverses formes d'entraide, les principales sources de financement et les conditions d'accès aux différentes formes de prêts, les éventuelles opportunités de travail en dehors des exploitations, etc.
- > la localisation des exploitations dans l'espace : altitude, nature des sols, risques d'inondations, proximité de l'habitat et des routes, etc.

La nature des systèmes de production, les niveaux de production et les résultats économiques :

- > les principales productions pour lesquelles ces systèmes sont pratiqués, les surfaces consacrées aux différentes cultures et aux divers élevages et les principales techniques employées, manuelles ou mécanisées : l'utilisation de fertilisants chimiques et/ou organiques, l'emploi de produits phytosanitaires, le recours aux vaccinations, l'achat d'aliments concentrés, les charges animales à l'unité de surface, etc ;
- > les niveaux de production obtenus avec les diverses techniques de culture et d'élevage (mesurés en termes physiques : volumes, tonnages...);
- > les produits bruts, les consommations intermédiaires, les valeurs ajoutées, la productivité du travail, les salaires et prélèvements divers, les revenus des exploitants, etc.

● **Les méthodes de traitement de l'information**

La multiplicité des facteurs et conditions qui interviennent dans le choix et l'évolution des systèmes de production, et la difficulté de les hiérarchiser à priori, incitent fréquemment les chercheurs à recourir aux analyses statistiques exploratoires : Analyse factorielle de correspondances (AFC), Analyse en composantes principales (ACP), et Analyse factorielle discriminante (AFD). Ceci dans l'espoir de repérer les principales relations entre phénomènes, d'identifier les combinaisons de variables interdépendantes les plus discriminantes, de classer les exploitations en fonction de ces critères et d'expliquer les différences ainsi mises en évidence. Ces méthodes d'analyse de données visent principalement à donner rapidement une image synthétique d'un très grand nombre d'informations statistiques. Elles ont connu un très vif engouement suite à l'essor de la micro-informatique qui a considérablement démocratisé l'utilisation des programmes informatisés de traitement des données.

● **Les difficultés et les limites de ces méthodes**

L'information disponible

Elle provient souvent de recensements statistiques antérieurs. Ceux-ci n'ont pas été entrepris dans l'objectif d'établir une typologie. Il est donc fréquent que certaines variables essentielles pour expliquer les différences entre systèmes de production n'aient pas été mesurées. Il faut alors procéder à de nouvelles enquêtes.

L'absence de base de sondage

Si l'on veut procéder à des inférences statistiques, il convient de réaliser les enquêtes sur un échantillon d'exploitants statistiquement représentatif de l'ensemble de la population concernée. Quand cette dernière est parfaitement identifiée, il convient de trouver ou d'établir une base de sondage, à savoir la liste complète des exploitations existantes en son sein. Cette liste peut parfois être fournie par les services administratifs, les chefs de village ou les associations de producteurs. Il convient toujours de vérifier si les listes qui nous sont ainsi offertes ont bien été actualisées et ne sont pas incomplètes. Il est souvent nécessaire de procéder soi-même au recensement de toutes les exploitations, démarche coûteuse en temps et en argent.

Les problèmes d'échantillonnage

Une autre difficulté tient au choix de la technique d'échantillonnage : l'échantillonnage stratifié est préférable lorsque la population concernée peut être préalablement divisée en strates relativement homogènes selon une caractéristique précise : par exemple : la superficie totale de l'exploitation. Cela permet de réduire le nombre d'enquêtes à réaliser en conservant le même niveau de précision. Mais, en l'absence d'une telle stratification préalable, on est souvent contraint de procéder à un échantillonnage aléatoire simple et de réaliser un nombre élevé d'enquêtes pour estimer correctement certains paramètres et utiliser des méthodes informatiques.

Le recueil des informations

Les difficultés inhérentes au recueil des informations sont considérables. Cela tient notamment au nombre souvent très important d'observations à réaliser sur le terrain et de questions à poser auprès de chaque exploitant. Ne serait ce que pour apprécier la superficie totale d'une exploitation, il faut presque toujours préalablement repérer de quelles surfaces celle-ci peut être éventuellement composée : champs cultivés tous

les ans, à raison de plusieurs cycles de culture annuels⁸, terrains cultivés épisodiquement en rotation avec des friches de plus ou moins longue durée, surfaces de terres indivises sur lesquelles l'exploitant peut librement faire pâturer ses animaux, jardins en copropriété, etc.

Il devient ainsi nécessaire de prévoir des questionnaires exagérément lourds pour des personnels à qui on demande, par ailleurs, de procéder à de très nombreuses enquêtes. La qualité des informations risque d'en sortir considérablement amoindrie. À ceci s'ajoute le risque d'oublier certains paramètres importants si l'on n'a pas déjà, au préalable, une connaissance suffisante de la réalité que l'on souhaite analyser ! Le résultat le plus fréquent est la mise en place de dispositifs d'observations et d'enquêtes extrêmement lourds et coûteux, sans assurance que le travail qui en résulte soit de bonne qualité. Le manque de fiabilité des informations recueillies est alors souvent beaucoup plus grave que les éventuelles erreurs d'échantillonnage.

Force est donc de reconnaître que les dispositifs d'enquêtes et d'observations fondés sur le recueil d'un très grand nombre d'informations qualitatives et quantitatives, à partir d'un échantillon d'exploitations de grande dimension, sans connaissance préalable suffisante des phénomènes à analyser, aboutissent rarement à des résultats probants. Faute d'hypothèses suffisamment fondées sur les variables explicatives de la diversité des exploitations et des systèmes de production agricole, le recours prématuré aux méthodes d'analyse multidimensionnelle se révèle presque toujours décevant. La question se pose donc de savoir comment construire progressivement de telles hypothèses.

● **Les méthodes basées sur les relations de cause à effet**

À l'inverse des analyses statistiques multidimensionnelles qui s'efforcent de mesurer en premier lieu les distances entre variables et s'interrogent ensuite sur les éventuelles relations de causalité dont les proximités peuvent être révélatrices, ces méthodes visent à mettre d'emblée en évidence des relations possibles de cause à effet.

● **L'exemple de l'analyse historique des mécanismes de différenciation**

L'analyse chronologique des événements techniques, économiques et sociaux, vise à montrer précisément comment chaque phénomène résulte de causes antérieures et peut être à son tour à l'origine de nouveaux effets.

L'objet de l'enquête historique

Dans la pratique, l'analyse historique porte essentiellement sur les trajectoires d'évolution des exploitations. Elle vise à resituer celles-ci dans la dynamique générale de transformation des zones rurales, avec pour objectif de révéler concrètement les mécanismes au travers desquels les divers exploitants ont été conduits à mettre en œuvre des systèmes de production différents.

Le choix des interlocuteurs enquêtés

L'analyse repose, en premier lieu, sur des entretiens de nature historique avec des agriculteurs vivant depuis longtemps dans la région et qui ont eux-mêmes directement participé aux transformations des systèmes de production.

⁸ Sans confondre la superficie réelle des terrains et la surface annuelle totale des cultures.

L'idée est de mettre à profit la mémoire et les connaissances accumulées par ces agriculteurs sur leur propre histoire collective. Ce sont les auteurs des transformations qui peuvent les décrire avec le plus d'exactitude et de précision et qui en ont sans doute le mieux conservé la mémoire.

La typologie qui en résulte est souvent qualifiée de «typologie à dires d'acteurs», dans la mesure où elle est issue d'informations en provenance de personnes ayant activement participé aux évolutions étudiées. Sa construction et son interprétation restent bien évidemment de la responsabilité des personnes extérieures qui sont chargées de la réalisation du diagnostic.

La difficulté réside parfois dans le choix des agriculteurs à interviewer, sachant qu'on ne connaît pas à priori leur diversité et que chacun d'entre eux peut avoir sa propre vision des mêmes événements. L'important est de réaliser les entretiens avec des agriculteurs de conditions sociales différentes, de façon à pouvoir construire la typologie en confrontant les informations provenant de sources suffisamment diverses (cf. chapitres 11 et 12). Plus important encore est l'obligation de faire porter les entretiens sur des faits matériels, datés et vérifiables, en écartant, autant que faire se peut, les enquêtes d'opinion.

Cette typologie reposera sur des différences d'autant plus objectives qu'elle résulte d'une analyse de l'évolution de phénomènes concrets dont on a vérifié l'existence et la date avec des informateurs aux intérêts fort divers. On évitera de se fier aux seules opinions émises par les responsables administratifs et les leaders à la représentativité plus ou moins douteuse.

Les thèmes d'enquête

Les entretiens portent essentiellement sur les conditions et les modalités de l'accumulation différentielle de capital au sein des exploitations. Il convient notamment de repérer les étapes durant lesquelles certains exploitants ont pu acquérir de nouveaux moyens de production et les raisons pour lesquelles il n'en a pas été de même pour toutes les catégories d'agriculteurs. Une attention particulière doit alors être portée aux diverses modalités d'autofinancement, aux possibilités de recourir à des emprunts, aux modalités concrètes de leur remboursement, aux conditions d'approvisionnement en intrants et de mise en marché des produits agricoles, aux opportunités de travail à l'extérieur, aux rapports de prix en vigueur, et à la plus ou moins grande sécurité de tenure foncière.

L'identification des types de trajectoires

Certains exploitants peuvent acquérir des matériels et moyens de traction leur permettant de travailler plus rapidement des superficies sans cesse croissantes. Ainsi en est-il, par exemple, lorsque les agriculteurs ont recours à la mécanisation et à la motorisation des opérations culturales.

D'autres exploitants peuvent immobiliser de grandes quantités de capital sur des étendues relativement réduites. C'est le cas lorsque les exploitants investissent dans des plantations pérennes exigeant beaucoup de soins (vergers, vignobles...), des bâtiments d'élevage (étables, porcheries...), des ateliers de transformation (production de fromages, confitures, boissons fermentées...), ou des infrastructures diverses (irrigation, drainage, serres, terrasses...). Les systèmes de production agricole deviennent alors souvent beaucoup plus intensifs en travail et en intrants divers (engrais, pesticides...).

Certains exploitants peuvent ne pas avoir les revenus suffisants pour investir davantage dans leurs unités de production, ni même parfois pour simplement entretenir et renouveler les équipements déjà en place. Leurs exploitations sont alors en décapitalisation avec le risque de disparaître à plus ou moins long terme, faute de pouvoir rester compétitives avec celles qui ont investi et augmenté la productivité du travail. Leur disparition permet parfois l'accroissement de la taille des exploitations restantes auxquelles sont cédées ou vendues les surfaces ainsi libérées. La décapitalisation des unités de production les moins compétitives peut aussi parfois se traduire par une sur-exploitation des écosystèmes et une baisse irréversible de leur potentiel productif : moindre production de biomasse, perte de biodiversité, chute du taux d'humus des sols, multiplication des ravageurs et prolifération de certaines adventices, etc.

La réalité peut évidemment se révéler beaucoup plus complexe et chaotique que ces trois grands types de trajectoires. L'accumulation de capital dans les exploitations est rarement progressive et se manifeste fréquemment au contraire par des sauts et paliers successifs. Les exploitants âgés peuvent hésiter à investir dans leurs unités de production tant qu'ils ne sont pas sûrs de pouvoir léguer ces dernières à leurs héritiers. De jeunes exploitants peuvent avoir intérêt, au contraire, à réaliser d'emblée de gros investissements, de façon à pouvoir devenir plus compétitifs sur le long terme. Les immobilisations de capital fixe vont alors souvent de pair avec une relative spécialisation des systèmes de production agricole, qui permet de mieux rentabiliser les investissements réalisés.

L'analyse historique des évolutions techniques, économiques et sociales permet finalement de montrer comment diverses catégories d'exploitants ont pu accumuler différents moyens de production et ont été ainsi amenées à pratiquer des systèmes de production eux-mêmes très distincts. C'est précisément cette relation entre les différenciations sociales et les changements techniques qu'il convient de mettre prioritairement en évidence : la typologie actuelle des exploitations agricoles apparaît alors très clairement comme l'aboutissement logique d'évolutions simultanées et complémentaires.

Bibliographie

- CHAUVEAU, J.P. 1997. *Des «stratégies des agriculteurs africains» au «raisonnement stratégique». Histoire, usages et remise en question d'un concept pluridisciplinaire.* In BLANC-PAMARD et BOUTRAIS coord., *Thème et variations, nouvelles recherches au Sud*, Coll. Dynamiques des systèmes agraires, ORSTOM, Paris pp.179-217.
- GRET, FAMV, 1990. *Manuel d'Agronomie Tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne.* Paris et Port au Prince.
- PAUL, J.L. ET AL. 1994. *Quel système de référence pour la prise en compte de la rationalité de l'agriculteur : du système de production agricole au système d'activité.* Actes du symposium sur les recherches-système en agriculture et développement rural. CIRAD, Montpellier, pp 46-52.

Analyser le fonctionnement d'une exploitation

À partir d'une contribution de S. Devienne (INA-PG)
et B. Wybrecht (GRET)

ANALYSER LES PRATIQUES, LES CONTRAINTES ET LES DYNAMIQUES

L'étude de la gestion technico-économique de l'exploitation agricole a pour objectif de décrire les pratiques des agriculteurs, d'explicitier leur logique et de formuler des propositions adaptées de modification de la structure ou du fonctionnement de l'exploitation. La démarche est basée sur la reconnaissance du savoir-faire paysan : au fil du temps, les agriculteurs ont mis au point des combinaisons de productions végétales et animales et des pratiques adaptées aux conditions agronomiques et socio-économiques auxquelles ils se trouvent confrontés.

L'étude et l'évaluation des pratiques mises en œuvre par les paysans apparaissent comme un moyen de recherche-développement indispensable afin de :

- > déterminer le champ des améliorations possibles dans le cadre des ressources disponibles de l'exploitation;
- > identifier les contraintes qui bloquent le développement du système de production et qui pourraient être levées par des investissements en travail, en moyens de production à l'échelle de l'exploitation ou grâce à des investissements dans des infrastructures collectives, et d'apprécier quelles sont les conditions économiques pour que ces contraintes soient levées. Bien souvent les investissements à réaliser sont hors de la portée des paysans.

Ce type d'analyse peut être conduit dans n'importe quelle région du monde, au sein de tous les types d'exploitations agricoles existants. Il suppose de ne pas porter de jugement de valeur *a priori* sur les pratiques des paysans, mais tout au contraire de considérer que ces pratiques sont l'adaptation des techniques aux conditions agronomiques et socio-économiques auxquelles sont confrontés les agriculteurs. Il est donc absolument indispensable de comprendre les fondements de ces pratiques, d'identifier les intérêts des paysans et les points de blocage de leur système, afin d'être capable de proposer des solutions de développement adaptées.

● Différents contextes d'analyse

L'analyse du fonctionnement technico-économique de l'exploitation agricole se pratique dans des situations variées, correspondant les unes à des schémas traditionnels de diffusion des innovations techniques, les autres à des interventions plus novatrices : conseil de gestion, crédit décentralisé, etc.

● La recherche des causes d'un échec ou d'un semi-échec

La diffusion d'une nouvelle production ou d'une nouvelle technique ne rencontre pas le succès escompté chez les agriculteurs. L'organisme chargé de cette diffusion souhaite comprendre pourquoi ils n'adoptent pas l'innovation proposée. Cela peut relever de problèmes de diffusion de l'innovation (cf. chapitre 33) mais également de causes plus fondamentales : ce qui est proposé est parfois incompatible avec le fonctionnement des exploitations agricoles, peut sembler d'un intérêt limité du point de vue des agriculteurs ou leur paraître trop risqué à mettre en œuvre.

L'analyse du fonctionnement de l'exploitation sera, dans ce cadre, centrée sur la vérification de la compatibilité des propositions avec les moyens disponibles dans les exploitations, l'étude des modifications nécessaires à leur introduction (modification, par exemple, du calendrier de travail) et la vérification de l'intérêt économique de ces propositions (nécessitent-elles pour leur adoption d'abandonner d'autres activités, aussi ou plus rentables ? Modifient-elles vraiment les critères économiques pertinents pour les exploitants ?). Le point de vue des agriculteurs peut fournir, dans ce type de situation, des hypothèses que l'analyse du fonctionnement des exploitations essaiera de valider ou d'infirmer. On n'étudie donc pas, en général, de façon détaillée l'ensemble du fonctionnement technico-économique. On focalise l'étude sur les indicateurs pertinents pour expliquer la situation.

● Les analyses pour minimiser les risques d'échec

Pour éviter de se retrouver en situation d'échec, on souhaite, avant de proposer des modifications, faire un diagnostic du fonctionnement des exploitations mettant en évidence les facteurs limitants de l'augmentation du revenu et de la productivité agricole. Des propositions seront ensuite établies pour les lever. Souvent le temps imparti pour réaliser ce diagnostic est réduit. Si le cheminement suivi reste de manière générale celui décrit plus loin, la personne qui réalise le diagnostic est alors conduite à évaluer de manière grossière certains indicateurs difficiles à collecter par enquête et à remplacer des valeurs précises par des ordres de grandeurs. L'essentiel est, en fait, de conduire des raisonnements qualitatifs corrects, plus que de traduire la réalité par une série de chiffres.

● Les demandes d'appui individualisé

Fait assez nouveau dans les pays du Sud, certains agriculteurs sont demandeurs d'un appui individualisé pour faire notamment des choix d'orientation de leur exploitation. Leur parcelle de caféiers arrive, par exemple, en fin de cycle de production. Qu'ont-ils intérêt à faire ? La recéper, replanter des caféiers, planter autre chose ? Le problème ne se réduit pas à une comparaison de marge par unité de surface : la trésorerie de l'exploitation, la gestion de la main d'œuvre sont des éléments indispensables à prendre en compte dans le raisonnement.

Même en dehors des périodes où l'exploitant est amené à faire des choix stratégiques qui l'engagent fréquemment pour plusieurs années, il peut souhaiter bénéficier d'un appui pour optimiser l'utilisation des moyens à sa disposition et d'un espace où les problèmes de gestion de l'exploitation seront évoqués avec d'autres agriculteurs.

C'est dans cet esprit qu'ont été mis en place, dans quelques pays, des centres de gestion qui forment les agriculteurs au recueil de l'information nécessaire à l'analyse de leur propre exploitation. Ils leur proposent de comparer leur mode d'organisation et les résultats auxquels ils parviennent et de poursuivre éventuellement par des tests d'innovations. Dans ce cadre de travail, les données utilisées doivent être beaucoup plus précises que dans les deux précédents : il s'agit de raisonner juste sur chacune des exploitations à partir de données fines. La collecte de l'information se fait donc, en général, de manière progressive au moyen de cahiers d'enregistrement.

● **Les principaux éléments d'analyse**

Comprendre ce que font les agriculteurs, comment et pourquoi :

- > comment les agriculteurs combinent-ils plusieurs activités et pratiques agricoles au sein de leur exploitation ?
- > quelle est la rationalité de leurs pratiques ? quels sont les problèmes techniques et économiques auxquels ils se trouvent confrontés ? quelles sont les contraintes qui limitent le développement de leur exploitation ?

Evaluer les résultats obtenus :

- > quelles sont les performances techniques obtenues pour chacune des activités ?
- > quelles sont les performances économiques globales de l'exploitation, en termes de richesse créée et de revenu de l'agriculteur ?

Selon les contextes, cette analyse mettra l'accent sur un ou plusieurs points particuliers. Elle conduira ensuite, dans la plupart des cas, à formuler des hypothèses quant aux perspectives d'évolution des exploitations et à identifier comment et à quelles conditions les agriculteurs pourraient modifier leurs pratiques.

Les éléments méthodologiques qui suivent constituent donc des repères à partir desquels le lecteur pourra construire une démarche d'analyse de l'exploitation agricole appropriée à ses objectifs et aux moyens à sa disposition. Pour certains aspects, ils renvoient à d'autres chapitres et notamment à celui consacré au diagnostic des systèmes d'élevage.

LE FONCTIONNEMENT TECHNIQUE D'UNE EXPLOITATION

● **Un système complexe**

Le métier d'agriculteur est complexe. Le paysan doit agencer dans l'espace et dans le temps de nombreuses activités de nature différente, dans un milieu aux conditions variées et dans des conditions socio-économiques particulières. Pour analyser les processus de production au sein d'une exploitation, il est indispensable d'étudier l'exploitation agricole comme un tout, comme un ensemble organisé, cet ensemble étant en évolution et ouvert sur un environnement lui-même en évolution. Deux concepts permettent d'étudier de manière efficace les systèmes complexes que sont les exploitations agricoles.

● L'unité de production

L'exploitation agricole est une unité de production. L'unité de production se caractérise par l'inventaire des ressources disponibles : surface agricole, nombre d'actifs, superficie des différentes cultures, effectifs des troupeaux, nombre et puissance des matériels, capacité des bâtiments, quantité d'intrants... Lorsque la gestion des différentes ressources relève de personnes différentes, ou lorsqu'il existe pour une ressource donnée plusieurs niveaux de décision emboîtés, le repérage des unités de production peut être complexe (cf. chapitre 31).

● Le système de production

Au sein de l'unité de production l'agriculteur pratique un système de production, qui peut être défini de la manière suivante : combinaison des productions et des facteurs de production (capital foncier, travail et capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole. L'étude du système de production s'intéresse donc au fonctionnement de l'exploitation agricole, vue sous l'angle d'une combinaison organisée, plus ou moins cohérente, de divers sous-systèmes productifs : systèmes de cultures, systèmes d'élevage et systèmes de transformation.

● Les ressources de l'exploitation

L'étude de la gestion technico-économique de l'exploitation commence par l'inventaire et la caractérisation des ressources disponibles : terres, travail et capital : matériel, cheptel, plantations, bâtiments, infrastructures diverses...

● Les ressources foncières

L'inventaire des terres auxquelles a accès l'exploitant s'effectue en recensant les parcelles de l'exploitation et en précisant, pour chacune d'entre elles, les caractéristiques qui contribueront à la compréhension de leur mode d'exploitation : localisation par rapport aux différents terroirs, surface, forme, disposition, qualité de la terre, distance par rapport à l'habitation et accessibilité, statut, mode d'exploitation, conditions d'accès à l'eau si elles sont irriguées.

La parcelle est, en général, située dans un terroir particulier, ensemble écologique homogène, aménagé de la même manière : réseau d'irrigation ou de drainage, terrasses... Ce terroir présente sur le plan agronomique des caractères, et souvent un mode d'exploitation, le distinguant des autres terroirs du village (cf. chapitres 12 et 232).

Le statut foncier (propriété, fermage, métayage, prêt) des différentes parcelles de l'exploitation doit être précisé. La sécurité de tenure des terres en propriété est, par ailleurs, variable. Elle peut être liée au fait que la parcelle figure ou non sur un titre de propriété et que celui-ci est individuel ou collectif. Elle dépend également de la reconnaissance par l'Etat du droit foncier coutumier, qui peut sécuriser la tenure en l'absence de tout document écrit (cf. chapitre 231). Ces éléments vont avoir des conséquences sur le choix des cultures, sur les investissements sur la parcelle et sur le partage de la production.

L'agriculteur peut également avoir accès à des terres communes dont il faut connaître les caractéristiques, le mode d'exploitation et les conditions d'accès : périodes de disponibilités, coût, contraintes éventuelles de chargement en têtes de bétail...

● Les ressources en travail

Le travail constitue sans doute la ressource de l'exploitation la plus difficile à appréhender. Il s'agit d'identifier la force de travail disponible, en distinguant la main-d'œuvre familiale (ou assimilée) et la main-d'œuvre salariée et en repérant sa disponibilité pendant l'année. Le recours à l'entraide ou à des échanges de main-d'œuvre peut jouer un rôle important. Les tâches sont souvent réparties entre les différents membres de la famille et entre la main-d'œuvre familiale et extérieure : cette organisation du travail est importante à comprendre.

Par main-d'œuvre familiale, on entend l'ensemble des membres de la famille et autres dépendants qui participent au travail sur l'exploitation pendant toute l'année et qui, à ce titre, partagent le fruit de ce travail tout au long de l'année, en particulier le repas. Ils font partie intégrante de l'unité de consommation. Les personnes qui ne participent qu'à quelques pointes de travail sur l'exploitation, à titre d'entraide ou bien en échange de cadeaux ou de repas pendant cette période, ne font pas partie de la main-d'œuvre familiale : il s'agit de travailleurs temporaires dont le travail fait l'objet soit d'un échange, soit d'une rémunération en nature.

La disponibilité tout au long de l'année est importante à prendre en compte. L'activité agricole est liée aux cycles des plantes et des animaux et fait, par conséquent, alterner des périodes de pointe et de creux de travail. Le paysan peut tirer partie des périodes de moindre travail au sein de son exploitation pour exercer une autre activité rémunératrice, tout en étant disponible à plein temps sur son exploitation. L'analyse fine de la disponibilité en travail ne pourra donc être abordée qu'au moment de la caractérisation du système de production.

● Les ressources en capital

Les immobilisations en capital fixe de l'exploitation sont de plusieurs sortes : matériel biologique (animaux, plantations), outils et matériels pour le travail agricole, matériel de transformation et de transport, bâtiments d'exploitation, infrastructures diverses : drainage, irrigation, voies d'accès.

Il s'agit d'identifier la nature de ces ressources, l'utilisation qui en est faite ainsi que la durée prévisible de cette utilisation. Le mode d'accès à ce type de ressources est également important à considérer. L'emprunt régulier des outils de base peut être la seule possibilité pour le paysan de travailler ses terres, en échange de travail gratuit ou de salariat à taux préférentiel. Le cheptel de l'exploitation peut, lui aussi, ne pas être en propriété mais en métayage : la répartition du produit entre l'éleveur et le propriétaire doit être clairement explicitée.

La caractérisation de la diversité, de l'usage, de la capacité de travail de l'outillage de l'exploitation est importante pour interpréter la productivité du travail agricole : un outillage peu performant, peu diversifié et, par conséquent, mal adapté a des conséquences négatives sur les rendements et entraîne des temps de travaux importants et une efficacité limitée de ce travail. L'usure des outils, en engendrant un surcroît de travail, peut également peser sur la productivité du travail.

● **L'histoire de l'exploitation**

● **La logique d'évolution**

L'analyse de la structure et du fonctionnement actuels d'une exploitation agricole renvoie à son histoire : celle de l'acquisition des moyens de production et de l'évolution de la combinaison de systèmes de culture et d'élevage. Retracer l'histoire de l'exploitation a pour objectif d'expliquer la logique d'évolution du système de production afin d'éclairer son fonctionnement actuel et de contribuer à prévoir son évolution future.

● **Comprendre les transformations**

L'histoire de l'exploitation peut être retracée à partir de l'acquisition de son autonomie par le chef d'exploitation : quelles sont les ressources dont il a hérité ? Des terres ont-elles été achetées ou louées et des investissements dans des outils, des équipements ou des plantations réalisés au départ, et avec quel capital ? Quelle était la combinaison des productions animales et végétales pratiquée et les techniques mises en œuvre à l'époque ?

À partir de cette situation, les principales transformations du système de production seront identifiées et décrites en s'attachant à en comprendre les raisons. Il s'agit de retracer les grandes étapes d'évolution de l'exploitation en montrant comment les différents changements intervenus interagissent et s'enchaînent : extension ou réduction de la superficie exploitée, diminution de la fertilité des terres, modification du nombre d'actifs, investissements en capital fixe ou en cheptel ou, au contraire, décapitalisation, abandon ou développement de nouvelles productions, transformation des pratiques mises en œuvre...

Les modifications des conditions socio-économiques contribuent, pour une large part, à expliquer les transformations des activités et pratiques des agriculteurs et ne doivent pas être oubliées : évolution des prix des produits agricoles, conditions d'écoulement des produits agricoles et d'approvisionnement des exploitations, modalités d'accès au foncier et prix de la terre, marché du travail, accès au crédit...

● **Mettre en évidence les grandes tendances**

● **Evolution de la structure de l'exploitation**

Deux grandes types d'évolution de la structure de l'exploitation peuvent être distingués : capitalisation ou décapitalisation :

- > dans le cas d'une capitalisation (en terre, en cheptel, en matériel...), les conditions de mobilisation du capital nécessaire sont à étudier de près : les investissements ont-ils été permis par les revenus dégagés de l'exploitation, la vente de cheptel ou de terres, des revenus extérieurs ou le recours au crédit ?
- > dans le cas d'une décapitalisation, il est nécessaire d'identifier quelles sont les ressources de l'exploitation les plus touchées et de mesurer les conséquences de la dégradation de l'appareil de production sur le fonctionnement et les performances des systèmes de culture et d'élevage.

L'histoire de l'exploitation peut faire apparaître des successions de périodes de capitalisation et de décapitalisation.

● **Evolution du système de production**

Deux paramètres permettent de caractériser l'évolution du système de production :

- > la tendance à la diversification ou, au contraire, à la spécialisation de l'exploitation;
- > la tendance à l'intensification en travail ou en intrants sur une surface de petite dimension (réduction de la durée des jachères et accélération du rythme des successions culturales) ou, au contraire, à l'extensification en travail sur une surface croissante grâce à des équipements plus performants.

● **Le système de production**

Avant de s'intéresser au fonctionnement global de l'exploitation, il est nécessaire de caractériser chacun des sous-ensembles constitutifs du système de production : systèmes de culture, systèmes d'élevage et systèmes de transformation. Une exploitation agricole peut comporter un ou plusieurs systèmes de culture distincts et/ou un ou plusieurs systèmes d'élevage distincts.

● **Les systèmes de culture**

Un système de culture se définit, au niveau de la parcelle ou d'un groupe de parcelles traitées de manière homogène, comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur ces parcelles, il est caractérisé par :

- > la nature des cultures ou des associations de cultures et leur ordre de succession ;
- > les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures ;
- > les produits et sous-produits, leurs rendements.

Itinéraire technique est la suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une culture ou une association de cultures.

● **Systèmes de production et de culture**

Un système de production combine fréquemment plusieurs systèmes de culture. Les caractéristiques écologiques des différentes parcelles, leur statut foncier et leur éloignement du siège de l'exploitation sont des éléments importants que l'agriculteur prend en compte dans le choix des systèmes de culture pratiqués.

Le jardin de case, un système de culture

Le jardin de case, jardin-verger situé à proximité immédiate de la maison constitue, par exemple, un système de culture à lui seul. Ce jardin-verger est complexe. Sa végétation est fréquemment constituée de l'association de nombreuses espèces pérennes ou annuelles formant plusieurs étages de végétation : étage haut d'arbres essentiellement fruitiers (avocatier, manguié, arbre à pain, cocotier...), étage intermédiaire (jaquier, agrumes, annones, bananier, caféier, cacaoyer, papayer...) et étage inférieur comprenant des espèces lianescentes (vanille, poivrier, igname,...) ou non (taro, macabo...). Sa taille fréquemment réduite peut conduire à l'oublier alors qu'il a une fonction économique souvent importante : alimentation de la famille, alimentation et hébergement des animaux domestiques, localisation privilégiée des cultures commerciales à forte valeur ajoutée par unité de surface. En outre, il concentre une part importante de la fertilité : résidus de cuisine, déjections des animaux parqués...

● **La caractérisation d'un système de culture**

Successions, associations et rotations culturales

La caractérisation d'un système de culture comprend, en premier lieu, l'identification de la succession de cultures ou d'associations de cultures pratiquée sur la parcelle ou le groupe de parcelles. Si cette succession est régulière, il s'agit alors d'une rotation culturale : rotation sur deux ou trois ans, faisant alterner différentes cultures, ou, sur une plus longue durée, incluant des années de jachère (cf. chapitre 423).

La reconstitution de ces successions se fait parcelle par parcelle, par enquête rétrospective : on part de la culture en place ou de la dernière culture pratiquée et on remonte le temps en essayant de voir s'il existe ou non des rotations. Suivant les parcelles, il est possible de remonter plus ou moins loin dans le temps. Trois difficultés peuvent apparaître lors de cette reconstitution.

> *des rotations courtes peuvent être intégrées dans des rotations longues.* L'exemple du tableau 1 montre que si on se contente de recueillir l'information sur trois ou quatre ans, il semble que l'agriculteur pratique une rotation cotonnier-maïs qui se répète tous les deux ans. Or, la véritable rotation est une rotation de neuf ans intégrant trois années de jachère et trois cycles successifs cotonnier-maïs. Pour la mettre en évidence, il faut soit reconstituer la succession sur une durée assez longue, soit poser une question sur la pratique ou non de la jachère sur le terrain concerné ;

> *le découpage des parcelles culturales peut varier d'une année à une autre.* C'est le cas notamment lorsqu'un agriculteur défriche progressivement son terrain et y conduit ensuite plusieurs productions. L'exemple de la figure 1 montre l'évolution de l'occupation d'un terrain pendant quatre années successives.

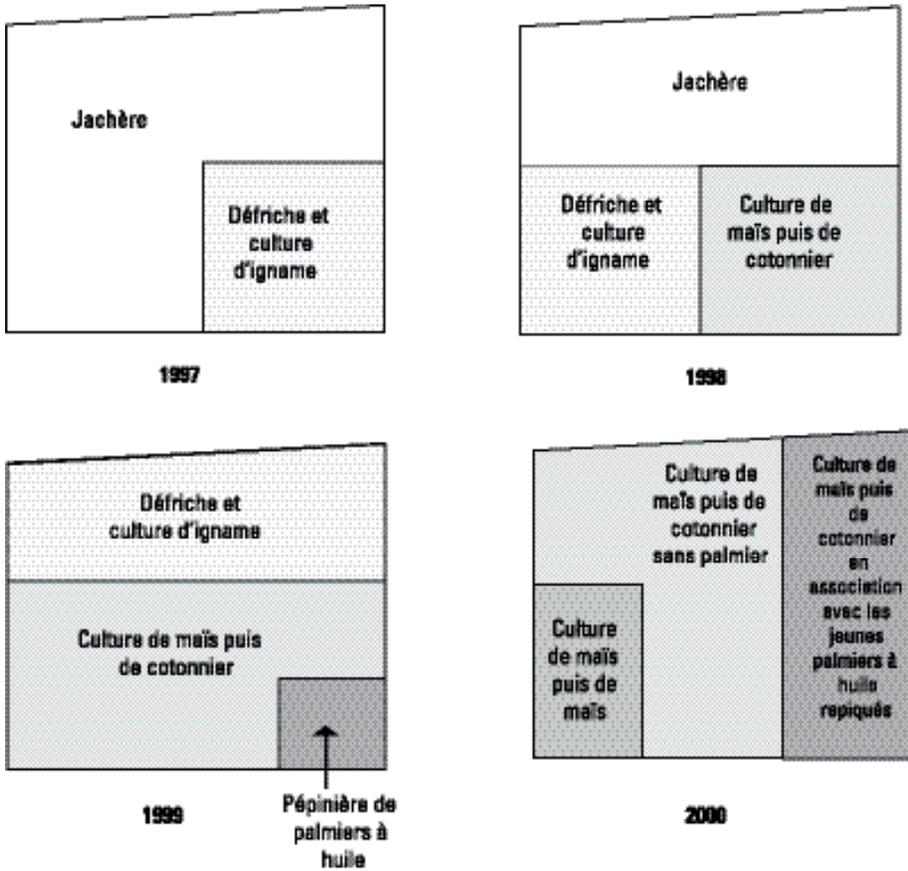
Dans cette situation, il est très difficile d'identifier les successions de culture : les parcelles d'une année ne correspondent pas aux parcelles de l'année suivante. Il n'y a qu'une discussion approfondie sur le terrain qui permette de comprendre la succession réelle des cultures sur les différentes parties du champ.

> *si la forme dominante de faire-valoir est le métayage à statut précaire, l'exploitant peut ne pas connaître la succession pratiquée sur la parcelle qu'il cultive :* il n'y cultivait pas l'année précédente et n'y cultivera peut-être plus l'année suivante. Dans ce cas, c'est le propriétaire qui connaît la succession pratiquée. Dans certaines situations il faut donc interroger les propriétaires et les exploitants pour caractériser de manière précise les systèmes de culture.

Tableau 1. Exemple de rotations courtes intégrées dans des rotations longues

Année	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986
Culture	M	C	M	C	M	C	J	J	J	M	C	M	C	M	C	J

M = maïs C = cotonnier J = jachère

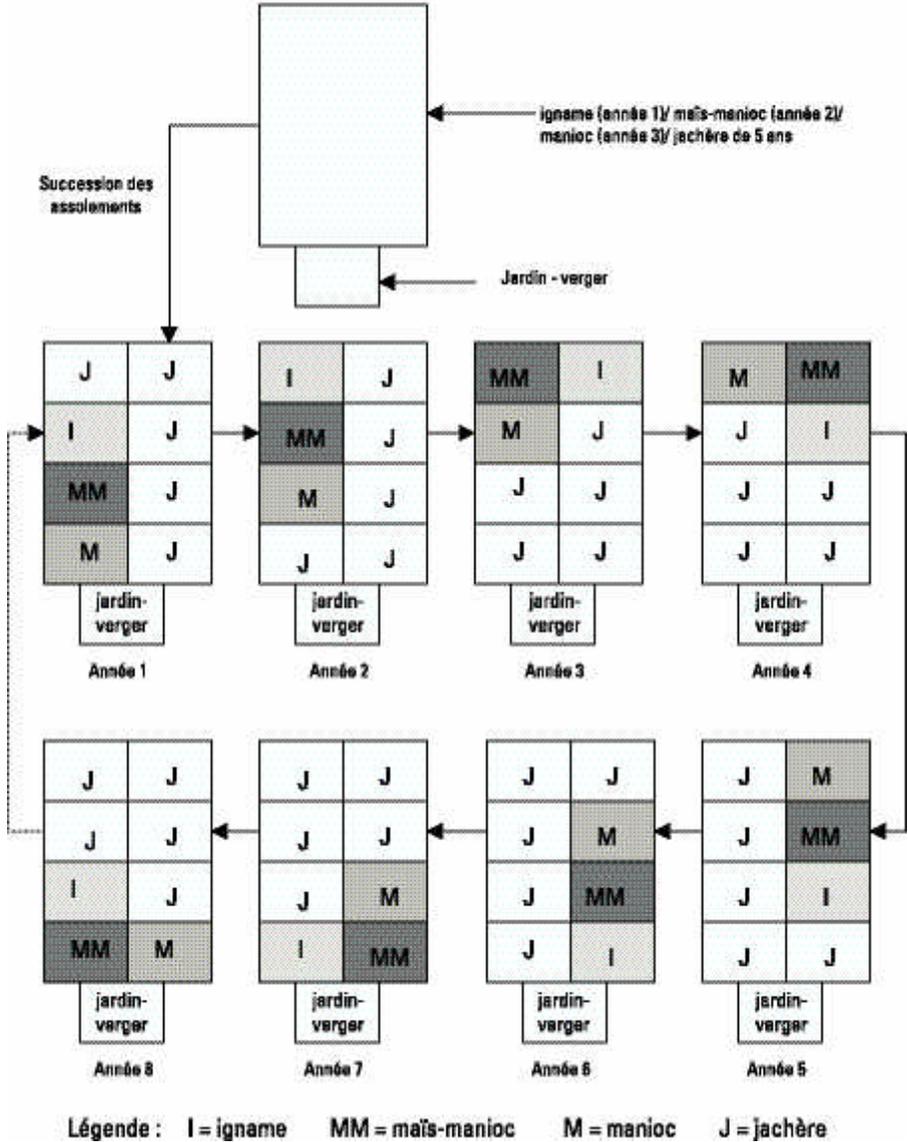


► Figure 1 : Exemple de mise en valeur progressive d'un champ au sud du Togo

Cette gestion de la répartition dans le temps des cultures sur une parcelle ou sur un groupe de parcelles est indissociable d'une gestion dans l'espace. Si la rotation est régulière, il faut nécessairement qu'il y ait autant de parcelles qu'il y a d'années dans la rotation : à une succession ou une rotation de cultures correspond nécessairement un assolement.

Exemple de combinaison/rotation de systèmes de culture

Par exemple, si un système de production se caractérise par la combinaison de deux systèmes de cultures, un jardin-verger et des parcelles cultivées sur lesquelles est pratiquée la rotation sur huit ans igname-maïs associé au manioc-manioc-jachère pendant 5 ans, l'agriculteur s'arrange, en général, pour avoir chaque année au moins une parcelle d'igname, une de maïs associé au manioc, une de manioc de deuxième année, et les parcelles en jachère doivent à peu près correspondre à $5/8^{\text{ème}}$ de la surface consacrée à ce système de culture. La figure 2 illustre cette relation. Cette représentation du système de culture est précieuse pour la compréhension de son fonctionnement en année moyenne, même si elle procède souvent d'une simplification : les contraintes de disponibilité foncière d'une part et l'évolution plus ou moins rapide des systèmes de culture rendent souvent la correspondance entre assolement et systèmes de culture assez approximative.



► Figure 2 : Schéma théorique de correspondance entre systèmes de culture et assolement de l'exploitation

Les associations culturales

La présence éventuelle d'associations de cultures, au sein des successions, conduit à s'intéresser à la gestion par l'agriculteur des relations de concurrence et de complémentarité entre les espèces cultivées simultanément sur la même parcelle (cf. chapitre 423). Ces relations concernent l'exploitation des ressources : lumière, eau, éléments minéraux. L'agriculteur peut les réguler par le choix des espèces et des cultivars et par le choix des dates et densités d'implantation.

Les itinéraires techniques

La caractérisation d'un système de culture se poursuit par l'identification de l'itinéraire technique, suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une espèce ou association d'espèces cultivées dans le cadre d'un système de culture. Il s'agit d'identifier ces opérations, de les situer dans le temps, d'en comprendre les raisons et les effets et d'expliquer leur logique d'enchaînement.

Les pratiques des agriculteurs sont une adaptation des techniques aux contraintes du milieu et aux moyens mobilisables par le paysan. La préparation du sol, par exemple, doit être examinée en relation avec le type de sol, le mode de reproduction de la fertilité, le mode de destruction des adventices, les conditions du climat, le type de plantes cultivées... S'agit-il d'enfouir des déjections animales, du fumier ou de l'engrais, de détruire des adventices ou de créer de la macroporosité dans le sol pour favoriser l'infiltration de l'eau et l'enracinement des cultures ? Le choix de l'outil, de la date de réalisation du travail, de ses modalités se raisonne par rapport au but recherché et aux contraintes de milieu et de moyens disponibles.

L'itinéraire technique mis en œuvre pour chaque espèce ou association cultivée dépend du cycle de production dans l'année et comprend des opérations culturales très variées. Il est important de situer dans le temps ces différentes opérations et de repérer la plus ou moins grande souplesse du calendrier par rapport au climat.

Lorsque le système de culture comprend une association complexe de plantes cultivées, la même intervention peut recouvrir la réalisation de différentes opérations : en un seul passage l'agriculteur peut, par exemple, réaliser le sarclage d'une espèce et le semis d'une autre.

Les différentes plantes cultivées ont des exigences différentes au niveau des dates de réalisation des opérations culturales par rapport au climat.

Exemple de calendrier de semis au nord du Cameroun¹

Au nord du Cameroun, les agriculteurs pratiquent plusieurs cultures. Les principales sont le sorgho pluvial, le cotonnier, l'arachide et le maïs. À l'arrivée de la saison des pluies, ils doivent décider d'un ordre de semis des différentes cultures. Ce choix est rendu nécessaire par l'impossibilité de semer précocement toutes les parcelles, pour des contraintes de temps de travail pour le semis et pour la préparation du sol.

On observe sur les parcelles des chefs d'exploitation l'enchaînement des semis suivant : sorgho → arachide → cotonnier → maïs.

Les premiers semis sont donc des semis de sorgho que les agriculteurs réalisent à partir du 20 avril à la première pluie de plus de 20 mm (ou enchaînement de pluies totalisant plus de 20 mm en moins de 5 jours). Les agriculteurs calent les dates de semis pour que la phase des cultures la plus sensible au stress hydrique corresponde à la période la plus humide de l'année (du 1er juillet au 1er octobre). Pour le cotonnier, il faut, par ailleurs, que les pluies cessent de tomber lorsque les capsules commencent à s'ouvrir. Pour les différentes cultures, on obtient ainsi, par analyse fréquentielle (cf. chapitre 412), la période de semis favorable.

¹ D'après DOUNIAS-MICHEL I. *Modèles d'action et organisation du travail par a culture cotonnière : cas des exploitations agricoles du bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun*, thèse INA-PG, 1998.

Tableau 2. Les périodes de semis favorables de quatre cultures au nord Cameroun

Culture	Durée du cycle	Date d'entrée dans la période favorable de semis	Date de sortie de la période favorable de semis
Sorgho	120 jours en semis précoce 105 jours en semis tardif	25 avril	10 juin
Cotonnier	130 jours pour l'ouverture de plus de 50% des capsules	1er juin	20 juin
Arachide	120 jours pour la maturation des gousses	16 avril	25 mai
Maïs	110 jours	16 mai	5 juillet

C'est pour le cotonnier que la période de semis favorable est la plus courte : elle ne dure que 20 jours. On comprend donc que les agriculteurs consacrent le mois de juin principalement à semer le coton et répartissent les semis des autres cultures sur les périodes antérieures (sorgho et arachide) et postérieures (maïs).

Le croisement des données climatiques avec les caractéristiques des espèces et des variétés cultivées permet donc de retrouver la logique de semis des chefs d'exploitation, à un détail près : c'est l'arachide qui pourrait être semée en premier. Or, beaucoup d'exploitants sèment des parcelles de sorgho avant de commencer à implanter des parcelles d'arachide. En fait, un deuxième facteur intervient dans ce choix : il s'agit du coût des semences. En effet, le choix des périodes de semis est calé pour éviter que la période avant et pendant la floraison soit une période sèche, mais cela n'élimine en rien les risques de période sèche juste après le semis. Même si les agriculteurs attendent le 20 avril pour semer après une pluie, ils risquent en début de saison d'être obligés de ressemer une parcelle grillée par une petite période sèche. Les semences d'arachide étant beaucoup plus coûteuses que les semences de sorgho, il paraît raisonnable de commencer par les semis de sorgho et d'attendre pour les semis d'arachide que la saison des pluies soit un peu plus installée.

L'estimation des productions

La caractérisation du système de culture s'achève par l'identification, pour chaque culture, des produits (et sous-produits), de leur destination (autoconsommation, c'est-à-dire consommation par la famille ; intraconsommation, c'est-à-dire consommation par les animaux de l'exploitation ; vente), et par l'estimation des quantités produites.

L'évaluation des quantités produites est compliquée à réaliser, même si on souhaite l'estimer à 10 % ou même 20 % près. Il est généralement impossible de réaliser une mesure par pesée directe de la production. Il faut soit estimer la production, soit estimer d'une part les surfaces récoltées et d'autre part les rendements obtenus sur ces surfaces.

L'estimation directe des productions est parfois relativement aisée à réaliser en unités locales : bassines, charges de charrette, sacs, bâches... Il ne faut toutefois pas oublier :

- > que ces unités locales ne sont pas complètement standardisées et qu'il faut donc fréquemment les étalonner : plusieurs types de sacs peuvent être utilisés dans un même village ; un sac usé et donc détendu contient plus qu'un sac neuf ;
- > qu'il peut exister un grand et un petit modèle de l'unité utilisée, et certains peuvent parler de bassine en pensant «grande bassine» et d'autres parler de bassine en pensant «petite bassine» ;

- > que les unités utilisées le plus fréquemment ne sont pas des unités massiques (comme le kg) mais des unités volumiques (comme le m³ ou le litre). Le rapport entre la masse et volume est la masse volumique et il dépend notamment de l'humidité du produit : une boîte de conserve remplie de haricots secs ne pèse pas le même poids qu'une boîte de conserve remplie de haricots frais ; une boîte de conserve de sorgho est moins lourde que la même boîte remplie de riz. Le plus simple pour ne pas se tromper est d'échantillonner, c'est-à-dire de vérifier avec 2 ou 3 pesées la correspondance entre unité locale de volume et unité de masse ;
- > que ce qui rentre dans le grenier ne correspond souvent pas à la totalité de la production : une partie a pu être consommée au champ au moment de la récolte, une autre a pu être distribuée en salaires aux personnes venues récolter, une troisième récupérée par le propriétaire du champ et une quatrième stockée ailleurs pour servir de semence pour la prochaine saison de culture.

Estimation directe des productions est difficile pour les plantes récoltées progressivement pour l'alimentation de la famille. C'est souvent le cas pour le manioc, stocké en terre et récolté au fur et à mesure des besoins de la consommation familiale. Une estimation indirecte est dans ce cas-là souvent plus facile.

Estimation indirecte par les rendements : le rendement d'une culture n'a de sens que s'il est replacé dans le cadre d'un système de culture donné : terroir, association, rotation, itinéraire technique donnés. Un rendement qui n'est pas contextualisé n'est pas extrapolable.

Le principal avantage de l'utilisation du rendement pour estimer la production est la possibilité de l'estimer soi-même dans les parcelles. Le plus simple est de pratiquer un échantillonnage raisonné dans la parcelle, avant qu'elle ne soit récoltée.

La figure 3 montre une façon de procéder pour estimer un rendement dans une parcelle hétérogène.

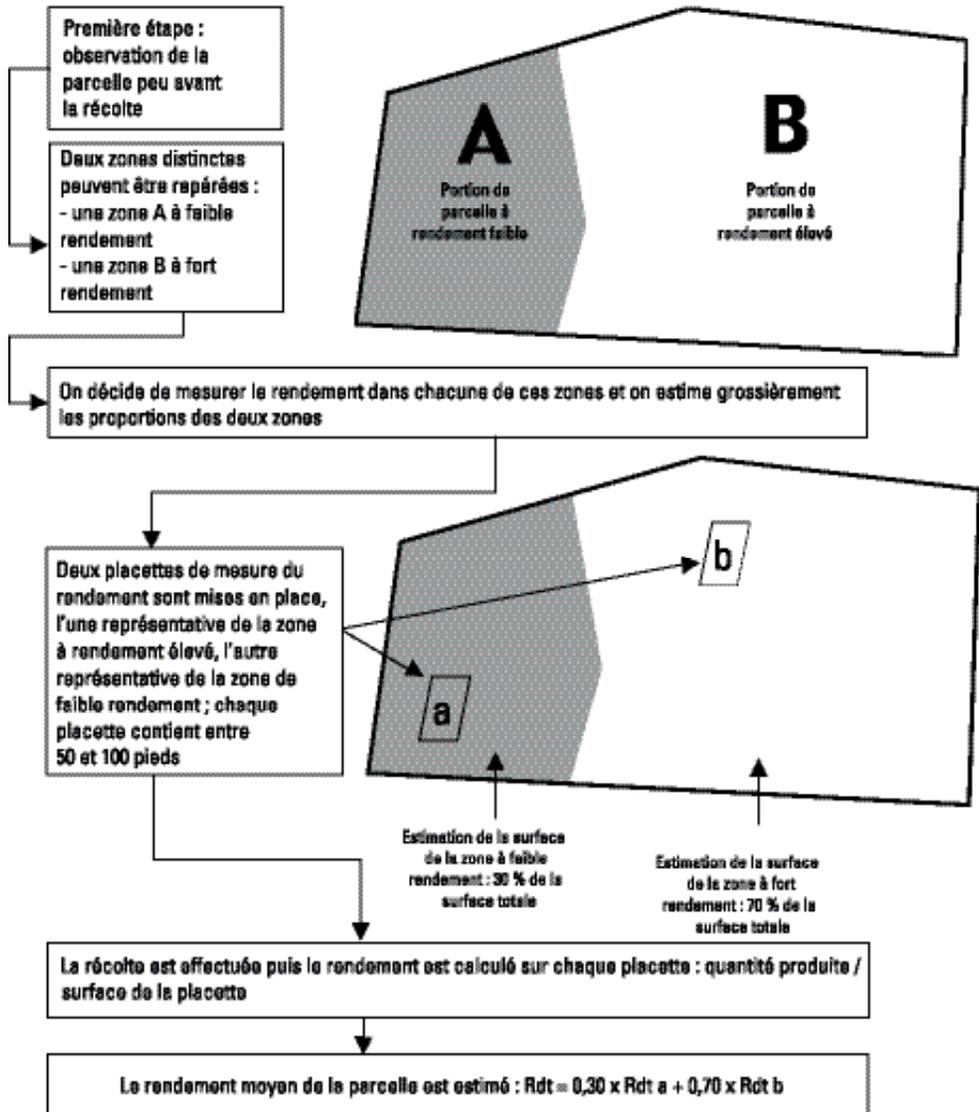
L'estimation des rendements par échantillonnage sur les parcelles est un travail lourd à conduire. Il doit donc être réservé aux situations où les autres méthodes d'estimation ne peuvent procurer de données suffisamment fiables par rapport au raisonnement que l'on souhaite conduire.

La deuxième variable à connaître pour une estimation indirecte est la surface. Il est possible de procéder par mesure de la parcelle, mais cela demande beaucoup de temps. En outre, rien n'inquiète plus des agriculteurs que de commencer à mesurer des angles et des longueurs dans une parcelle voisine de la leur ou, pire, dans une de leurs parcelles ! On procède donc très souvent par estimation rapide de la surface. Comme pour les estimations de production, il faut faire attention à la multiplicité des mesures locales et aux problèmes de conversion.

Les agriculteurs ne connaissent souvent pas la surface de leurs parcelles, mais le temps de travail nécessaire pour les sarcler ou les repiquer. Il faut donc convertir des jours de sarclage ou de repiquage en m². Le taux de conversion dépend bien entendu des techniques utilisées. L'estimation sera d'autant plus fiable que l'agriculteur a l'habitude d'utiliser de la main d'œuvre salariée sur sa parcelle.

Que l'on procède par estimation directe ou indirecte, il est important d'évaluer une production moyenne, en discutant avec le paysan de ce qu'il considère comme une production faible et une production élevée, et de leurs fréquences d'occurrence : la variabilité inter-annuelle du climat peut être importante et la production varier en

conséquence du simple au double, voire plus. L'estimation d'une production moyenne à 10 ou 20 % est donc relativement précise. Si on a procédé de manière indirecte par mesure du rendement, il faut pouvoir, par entretien, replacer la valeur observée une année particulière dans une fourchette.



► Figure 3 : Exemple d'échantillonnage raisonné dans une parcelle pour l'estimation du rendement

● Les systèmes d'élevage

● Définitions et caractérisation

Les définitions utilisées dans ce chapitre sont celles proposées par E. Landais. Un système d'élevage se définit en fonction d'un troupeau ou de fragments de troupeau. Il se caractérise par une suite logique et ordonnée d'opérations techniques d'élevage.

Sur une même exploitation, il peut y avoir plusieurs systèmes d'élevage distincts : système d'élevage bovin laitier et système d'élevage porcin ou système d'élevage bovin laitier et système d'élevage bovin viande, si les animaux sont de race différente et conduits séparément pour l'alimentation et la reproduction.

Un système d'élevage peut être caractérisé par :

- > *des pratiques d'agrégation* : opérations par lesquelles l'éleveur constitue des groupes d'animaux qui seront traités de manière particulière. Ainsi, un ensemble d'animaux de même espèce est parfois décomposé en *ateliers* ou lots distincts suivant l'âge, le sexe et les productions : un élevage de porcs peut comporter un atelier naisseur comprenant des truies et des porcelets et un atelier engraisseur composé des mâles castrés, engraisés sur l'exploitation avant d'être commercialisés. Il est important de comprendre la conduite des animaux de chaque atelier et de repérer les flux d'animaux entre les différents ateliers. À l'inverse, tous les animaux d'une même espèce, ou bien de plusieurs espèces, peuvent être conduits ensemble, pour l'alimentation et l'abreuvement, comme dans de nombreux systèmes pastoraux au sein desquels les troupeaux sont polyspécifiques : ovins, caprins, bovins, par exemple. Il s'agit de repérer quelles sont les opérations d'élevage spécifiques à chaque espèce et à chaque catégorie d'animaux, et de mettre en évidence d'éventuelles relations de concurrence et de complémentarité entre les différentes espèces constituant le troupeau, pour l'utilisation des ressources fourragères, de la main d'œuvre...
- > *des pratiques de conduite* : ensemble des opérations d'élevage effectuées sur les animaux pour leur entretien ou pour qu'ils réalisent les performances que l'on attend d'eux : reproduction, hygiène et santé, alimentation. Ces pratiques doivent être décrites, s'il y a lieu, atelier par atelier ;
- > *des pratiques d'exploitation* : ensemble des opérations par lesquelles le paysan exerce un prélèvement sur le troupeau qu'il élève à cette fin ;
- > *des pratiques de renouvellement du troupeau* : ensemble des opérations réalisées pour que le troupeau reproduise ses performances à long terme : réforme des animaux malades ou âgés, sélection des jeunes, achat de reproducteurs ou de jeunes ;
- > *des pratiques de valorisation* : ensemble des opérations de transformation des produits animaux réalisées par l'exploitant et sa famille avant leur commercialisation ou leur intraconsommation.

Une difficulté fréquente est la pluralité des centres de décision, souvent plus complexes que dans le cas des productions végétales. Comme l'illustre l'exemple suivant, il est particulièrement important d'identifier rapidement les différents intervenants et leurs attributions, avant de lancer un travail d'enquête sur les systèmes d'élevage, sous peine de poser de bonnes questions à de mauvais interlocuteurs !

Des responsabilités éclatées : un exemple au sud du Sénégal²

Au sud du Sénégal, le troupeau de bovins est conduit sur les pâturages et les lieux d'abreuvement par un bouvier. C'est lui qui déplace les animaux et les surveille. Mais, ce n'est pas lui qui décide de la fréquence et des lieux de déplacement : c'est un gestionnaire qui prend les décisions en matière de conduite des animaux.

La plupart des animaux n'appartiennent pas au gestionnaire : le troupeau est constitué par le rassemblement d'animaux appartenant à différents propriétaires issus majoritairement d'un même quartier de village. Ce sont ces propriétaires qui vont décider de l'exploitation des bêtes qui leur appartiennent, au moins pour la vente des animaux.

Un autre mode d'exploitation, la traite, dépend uniquement du bouvier qui traite les animaux et vend le lait à son profit. Le renouvellement du troupeau va dépendre d'une multiplicité de décisions individuelles. Chaque propriétaire peut décider à sa guise du nombre et du type d'animaux qu'il fait entrer ou sortir du troupeau. Enfin, le chef de quartier arbitre les conflits liés à la gestion du troupeau.

● **Les pratiques de conduite**

La conduite de la reproduction

L'étude de la conduite de la reproduction consiste d'abord à repérer le calendrier de reproduction et à évaluer les performances zootechniques (cf. chapitre 61). L'ensemble de ces caractéristiques et performances doit être mis en relation avec les potentialités des animaux et, surtout, avec l'alimentation disponible sur l'année et au cours des différentes saisons. Il est important également de s'intéresser au choix des reproducteurs mâles : sont-ils présents sur l'exploitation, fait-on appel à l'extérieur, dans quelles conditions ? Le choix de la race sera à mettre en relation avec le type de produit recherché et l'alimentation disponible.

Quels critères de choix de la race de porc ?

En élevage porcin, l'amélioration génétique grâce au croisement avec des races de porc de type Landrace ou Large white, qui présentent une vitesse d'engraissement plus grande et produisent une viande plus maigre, peut ne pas du tout être recherchée par le paysan. Il préférera engraisser des porcs de race locale, producteurs de gras apprécié par les consommateurs locaux ou indispensables à l'équilibre nutritionnel de la famille, et capables de se nourrir de résidus de cuisine ou sous-produits agricoles au coût d'opportunité faible ou nul.

La conduite sanitaire

La conduite en matière d'hygiène et de santé s'intéressera plus particulièrement aux mesures prophylactiques mises en œuvre, aux principaux problèmes de santé des animaux et aux soins que l'exploitant a la possibilité matérielle ou financière d'apporter. Il est important d'essayer de relier ces problèmes, surtout s'ils sont récurrents, à l'alimentation des animaux, en particulier à ses carences ou déficits, à la fréquence et à l'importance des déplacements ou des travaux éventuels effectués par les animaux, ainsi qu'au type de bâtiments où ils sont logés et à l'hygiène qui y est apportée.

¹ D'après LHOSTE et al. *Zootechnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage*. Ministère de la Coopération, Paris, 1993.

La conduite de l'alimentation et de l'abreuvement

La conduite de l'alimentation du troupeau conditionne très largement sa gestion ainsi que ses performances. Elle doit s'étudier dans le temps (au cours des saisons) et dans l'espace (déplacements des animaux).

Il s'agit pour chaque atelier de repérer ce que consomment les animaux pendant les différentes saisons, tout au long de l'année : produits agricoles, pâturage de prairies aménagées, de parcours, de friches en rotation avec des cultures, éventuellement aliments achetés, sans omettre les sous-produits agricoles ou résidus de culture, ni les résidus de cuisine. Les sous-produits agricoles et déchets ménagers jouent parfois un rôle très important dans l'alimentation des animaux et seraient inutilisés autrement : ils ont donc l'avantage de présenter un coût d'opportunité très faible et même nul le plus souvent.

La disponibilité de ces différentes ressources dans le temps et dans l'espace doit être clairement identifiée afin de repérer les périodes de l'année où l'alimentation des animaux pose le plus de problèmes.

Dans certaines situations, notamment dans les zones sèches où une proportion relativement faible de l'espace est cultivée, la période de déficit fourrager est la saison sèche. La mise en valeur agricole des bas-fonds renforce ce déficit en supprimant progressivement les pâturages traditionnels qui y sont localisés. À l'inverse, dans les zones entièrement cultivées en saison des pluies, le déficit fourrager peut apparaître à la période où la végétation est exubérante mais inaccessible aux animaux. Il est lié à la fois à la faible disponibilité en aliments et au temps nécessaire pour les mettre à disposition des animaux : déplacement des animaux conduits au piquet, transport d'adventices ou d'autres ressources fourragères à l'endroit où les animaux sont parqués. Cette contrainte de temps de travail est accentuée par l'importance des activités agricoles à réaliser en début de saison des pluies.

L'analyse devra mettre en évidence les stratégies utilisées par les agriculteurs pour faire coïncider offre et demande fourragère tout au long de l'année :

- > reports entre la saison de forte disponibilité fourragère et celle de faible disponibilité, grâce à des stocks de fourrage ;
- > ouverture d'espaces particuliers au pâturage pendant les périodes de déficit fourrager ;
- > achats d'aliments : ces dépenses seront à mettre en relation avec les disponibilités en trésorerie, qui peuvent varier au cours de l'année ;
- > valorisation complémentaire des différentes parties de l'écosystème : zones sèches et bas-fonds humides, différences d'altitude ou d'exposition de versants.

Pour comprendre comment le paysan gère les ressources fourragères disponibles, il s'agit donc de :

- > repérer leur disponibilité dans l'espace et dans le temps et d'établir un calendrier d'alimentation pour chaque atelier. Ce calendrier sera aussi mis en relation avec celui des productions végétales de l'exploitation : produits, sous-produits et résidus de cultures. L'objectif est de mettre en évidence les éventuels déficits fourragers ;
- > repérer les déplacements qu'imposent au paysan l'abreuvement et l'alimentation des animaux, y compris leur affouragement, et d'évaluer le temps de travail qu'ils représentent ;

- > mettre en relation les performances des animaux avec la qualité, la quantité et la régularité dans le temps de l'alimentation. Les périodes de croît ou d'engraissement et celles d'éventuel amaigrissement doivent être identifiées, situées dans le temps par rapport aux ressources alimentaires. Le choix des races pourra également être mis en relation avec la conduite de l'alimentation ;
- > mettre en relation la gestion des flux des animaux avec les disponibilités en alimentation : les éleveurs peuvent chercher à vendre les jeunes animaux ou les animaux engraisés à l'issue de la période d'abondance de fourrages, afin d'ajuster leur cheptel aux ressources fourragères disponibles au cours de la période de déficit fourrager.

Enfin l'abreuvement des animaux peut demander, particulièrement en saison sèche, des déplacements sur de longues distances. L'éleveur peut d'ailleurs réduire la fréquence d'abreuvement des animaux lorsque l'eau devient rare.

Les pratiques d'exploitation et de renouvellement

Les élevages ont fréquemment plusieurs fonctions :

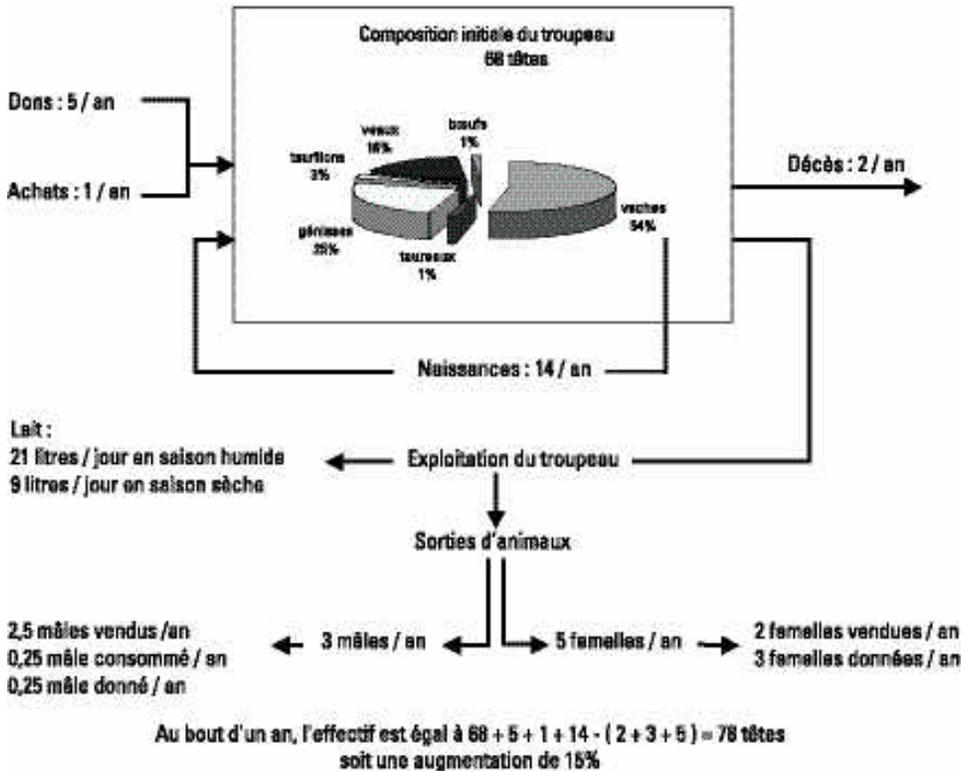
- > produire (du lait, de la laine, de la viande...), ce qui permet une diversification des rentrées d'argent et une répartition des risques liés à l'activité agricole, ainsi qu'une accumulation de capital grâce à la reproduction et à l'augmentation du cheptel ;
- > fournir, en ce qui concerne les bovins et les équins, une force de traction et participer aux transports ;
- > offrir un moyen d'épargne facilement mobilisable ;
- > offrir une garantie financière facilitant l'accès aux emprunts ;
- > participer à la reproduction de la fertilité sur les espaces cultivés.

Les prélèvements que le paysan effectue sur ses animaux doivent être situés dans le temps et les quantités prélevées doivent être évaluées : traite, œufs, traction, animaux. La quantité de travail et le type de main d'œuvre qu'ils requièrent sont des éléments importants à prendre en compte.

La conduite du renouvellement du troupeau doit être examinée avec soin : modalités de réforme des animaux, sélection des reproducteurs, achats ou prise en gardiennage d'animaux. Pour comprendre les relations entre prélèvements en animaux (vente ou abattage) et renouvellement du troupeau, il apparaît indispensable de reconstituer les flux d'animaux, sans oublier les taux de mortalité, en s'efforçant de comprendre comment le paysan gère ces flux.

On repère ainsi les animaux destinés au renouvellement du troupeau et ceux qui sortiront de l'exploitation sans participer à ce renouvellement : animaux castrés, animaux vendus avant l'entrée en reproduction, femelles pleines. Les variations intra-annuelles d'effectifs des différents ateliers résultant de ce mode de gestion devront ensuite être rapprochées des variations au cours de l'année des ressources fourragères.

La destination des produits animaux doit également être explicitée : autoconsommation ou vente. Le paysan peut également se servir de son cheptel comme d'un moyen de placer de l'argent : il peut, chaque année, acheter des animaux au moment d'une rentrée d'argent afin de les revendre lorsqu'il aura besoin de faire une dépense. De manière générale, en dehors du strict renouvellement du troupeau, il faut comprendre la fréquence et les raisons d'achat ou de vente de cheptel, réguliers ou exceptionnels.



□ après DABUSTI N., VANCAUTEREN D., 1999. Les systèmes d'élevage du district de MBARARA (Ouganda) et leur contribution à la filière laitière. Mémoire de Master of Science. Montpellier CNEARC

► Figure 4 : Renouvellement et exploitation d'un troupeau bovin extensif de race Ankole dans le sud ouest de l'Ouganda

● La transformation des produits agricoles

Les produits agricoles doivent le plus souvent subir une transformation avant d'être consommés, conservés ou vendus. Certains produits d'élevage peuvent aussi subir une transformation sur l'exploitation (produits laitiers notamment). Ces activités requièrent souvent un travail important et nécessitent un matériel et parfois un bâtiment spécifiques pour la transformation ou le stockage.

Parmi les différentes tâches de transformation doivent être distinguées celles qui sont à réaliser immédiatement, sous peine de pertes importantes, et celles dont la réalisation peut être différée dans le temps, autorisant une certaine souplesse dans le calendrier de travail. Le temps de travail et l'équipement nécessaires à chacune de ces tâches doivent être identifiés, ainsi que le rendement de la transformation : quantité de produit fini par rapport à la quantité de matière première et de sous-produits.

Les pertes lors de la conservation et la durée possible de stockage doivent être évaluées. La conservation des semences constitue souvent un problème particulier à examiner.

La destination des produits finis doit être clairement identifiée : autoconsommation ou vente. Les produits vendus sont-ils stockés avant d'être mis sur le marché ? Dans quelles conditions sont-ils commercialisés ? À quelle période de l'année ?

● **La combinaison des systèmes de culture et d'élevage**

L'étape suivante de l'analyse est la compréhension du fonctionnement global du système de production : combinaison des différents systèmes de culture, d'élevage et de transformation conduits dans les limites autorisées par les ressources disponibles de l'exploitation.

Cette combinaison peut apparaître d'autant plus complexe qu'elle englobe de nombreux systèmes de culture et d'élevage. Pour les agriculteurs, les systèmes complexes ne sont pas les plus difficiles à conduire. En effet, contrairement aux systèmes spécialisés au sein desquels alternent des périodes de très forte mobilisation de la main-d'œuvre et des équipements de l'exploitation, et des périodes de creux où les ressources de l'exploitation sont sous-utilisées, les systèmes combinant de multiples systèmes de culture et d'élevage peuvent présenter de nombreux avantages, en particulier dans des exploitations paysannes faiblement mécanisées. Ils permettent de mieux répartir sur l'année le travail familial, l'utilisation des terres et de l'outillage et d'étaler les productions. Ceci donne la possibilité :

- > de faire face tout au long de l'année à l'alimentation de la famille et du bétail, en ayant moins besoin de faire appel au marché ;
- > de diminuer les risques inhérents à la production et au stockage, en permettant des compensations entre les différentes productions ;
- > d'avoir une trésorerie plus aisée, en étalant les recettes tout au long de l'année.

Analyser le fonctionnement d'un système de production consiste à étudier les relations entre les différents sous-systèmes productifs :

- > *relations de complémentarité*, qui s'expriment surtout au niveau des flux de produits, de matières et d'énergie entre systèmes de culture, d'élevage et de transformation ;
- > *relations de concurrence* pour l'affectation des ressources de l'exploitation : force de travail, terrains, moyens mécaniques, biologiques et chimiques. Il est important de comprendre comment le chef d'exploitation décide de la répartition de ces ressources, disponibles en quantité limitée.

● **L'assolement de l'exploitation**

L'assolement de l'exploitation est la répartition à une période donnée des surfaces entre les différentes productions végétales. Il résulte de la combinaison des systèmes de culture pratiqués dans les différentes unités de milieu. L'assolement est un concept beaucoup plus proche des préoccupations de l'agriculteur que le système de culture, notamment lorsque l'assise foncière de l'exploitation varie peu dans le temps.

Pour l'agriculteur, construire son assolement, c'est affecter des productions végétales aux différentes parcelles disponibles. Le choix d'un assolement intègre :

- > *des considérations techniques* : correspondance entre les caractéristiques écologiques de la parcelle et les besoins des espèces cultivées, risque de mauvaise récolte ;

> *et des considérations économiques* : rentabilité des productions possibles, exigences en temps de travail, durée et investissement nécessaire pour aboutir à la production, risque économique, nécessité d'assurer l'alimentation de la famille et du cheptel de l'exploitation.

Il intègre également souvent des considérations de temps de travaux : l'agriculteur évite d'avoir à gérer des pointes de travail trop lourdes en diversifiant le choix des espèces ou simplement des variétés.

● **Systèmes de culture et d'élevage : complémentarités et concurrences**

L'association agriculture-élevage est souvent l'un des principaux éléments de la combinaison pratiquée au sein du système de production. Systèmes de culture et d'élevage peuvent être complémentaires : les systèmes de culture procurent souvent une grande part de l'alimentation des animaux tandis que les systèmes d'élevage fournissent des animaux pour la traction des outils agricoles ou des moyens de transport ainsi que des déjections pour la reproduction de la fertilité sur les parcelles cultivées. Ils peuvent être aussi concurrents pour l'utilisation de la main-d'œuvre ou pour l'affectation des terres de l'exploitation.

● **La gestion de la fertilité**

La reproduction de la fertilité sur une parcelle peut être assurée de diverses manières :

- > enfouissement des résidus de récolte ou de transformation des produits agricoles ;
- > association avec l'élevage : soit en valorisant directement sur la parcelle les déjections des animaux qui y pâturent, soit en épandant les bouses, le lisier ou le fumier des animaux provenant du parc ou de l'étable, ou ramassés sur les voies de passage du bétail. Peuvent parfois y être ajoutés les excréments humains, comme en Chine ou au Vietnam ;
- > accumulation de biomasse durant une jachère de longue durée (cf. chapitres 411, 423, 433);
- > transferts verticaux d'ions liés à l'association avec un couvert arboré à enracinement profond ;
- > mise en œuvre d'associations ou de rotations comprenant fréquemment des légumineuses ;
- > apports d'éléments minéraux et organiques transportés par l'eau : épandage de crue d'une rivière, colluvionnement en bas de pente, transferts d'ions liés à la montée et à la descente de la nappe phréatique ;
- > apports de matières organiques prélevées dans d'autres parties de l'écosystème et transportées par l'agriculteur : végétation, éventuellement accompagnée d'humus brut (horizon A_0 du sol), qui peut être enfouie, brûlée ou mélangée à la litière des animaux (étrépage).

Au sein de ces flux de matières organiques et minérales, il est indispensable de distinguer les formes de recyclage de la fertilité à la parcelle³ des transferts de fertilité dont peut bénéficier la parcelle en provenance d'autres parties de l'exploitation ou de l'écosystème pour maintenir ou accroître la fertilité.

³ Recyclage des produits et sous-produits agricoles, des adventices, etc.

La gestion de la fertilité doit être analysée à plusieurs échelles. À chaque échelle, il convient de s'interroger sur la manière dont l'exploitant essaie de valoriser au mieux ce capital fertilité.

Au niveau de la parcelle ou des parcelles faisant partie du même système de culture, il s'agit de comprendre si la fertilité est entretenue voire accrue et de mettre en relation gestion de la fertilité, choix des espèces cultivées, du nombre de cycles par an et des techniques culturales;

Au niveau de l'exploitation il est indispensable de comprendre comment l'exploitant gère la fertilité de ses sols. Il peut, pour renouveler ou accroître la fertilité de ses parcelles cultivées, disposer :

- > de ressources provenant d'herbages, de parcours ou d'espaces boisés, à partir desquels il peut réaliser des transferts de fertilité directement ou grâce à l'association avec l'élevage ;
- > d'une superficie suffisamment étendue pour pratiquer des jachères de moyenne ou longue durée permettant la reconstitution d'une biomasse végétale importante ;
- > des apports de l'alluvionnement d'une rivière ou du colluvionnement...

Dans les régions densément peuplées, lorsque les superficies pâturables par les animaux sont pratiquement inexistantes, les jachères réduites à quelques mois et les engrais chimiques inaccessibles, les ressources en matières organiques deviennent limitantes. L'exploitant est conduit à faire des choix d'affectation et à mettre en œuvre des techniques permettant de valoriser au mieux les éléments minéraux et organiques disponibles.

L'agriculteur peut, par exemple, réaliser systématiquement des transferts depuis certaines de ses parcelles vers d'autres parcelles, c'est-à-dire accroître la fertilité des premières au prix du maintien, voire de la diminution de la fertilité des dernières. Il s'agit alors de comprendre comment l'exploitant fait ses choix d'affectation et comment il ajuste choix des espèces cultivées et des techniques culturales et pilotage de la fertilité.

La gestion de la fertilité au sein de l'exploitation doit être également analysée d'un point de vue dynamique. L'équilibre trouvé à un moment peut être compromis, si les besoins en matières organiques s'accroissent alors que les ressources s'amenuisent : les superficies cultivées s'étendent au détriment des espaces pâturés, les disponibilités en terres cultivées des exploitations diminuent, les cycles se multiplient et les jachères se réduisent. Les transferts de fertilité sont alors réduits et les rendements par unité de surface diminuent si les agriculteurs ne modifient pas leurs systèmes de culture. Il faut donc nécessairement s'appuyer sur l'histoire de la gestion de la fertilité au sein de l'exploitation pour tenter d'en prévoir l'évolution future et ses conséquences sur les rendements agricoles et la santé économique de l'exploitation.

● **La mise en relation des calendriers**

L'affectation des ressources de l'exploitation peut être comprise au travers des calendriers de fonctionnement du système de production : calendrier d'utilisation des différents types de ressources et calendrier des productions. Ceux-ci doivent être établis pour chacun des systèmes de culture, d'élevage et de transformation pour lequel il faut construire le calendrier des besoins en main d'œuvre, en matériel, en traction animale, en fourrages et en liquidités monétaires ainsi que le calendrier des productions.

Repérer les goulets d'étranglement, les concurrences et complémentarités

La mise en perspective des calendriers relatifs aux différents sous-systèmes productifs de l'exploitation a pour objectif de repérer les périodes de forte sollicitation et les périodes de sous-emploi des ressources de l'exploitation. Il est important de repérer les principaux goulets d'étranglement auxquels l'exploitant se trouve confronté : pointes de travail et déficit en main d'œuvre, déficit fourrager, déficit en trésorerie, équipement insuffisant, difficulté de stockage et de conservation des produits... Il s'agit de comprendre comment l'exploitant fait face à ces goulets d'étranglement en répartissant l'utilisation de ressources en quantité limitée : terre, main-d'œuvre, outils, trésorerie.

L'examen du calendrier fourrager des différents troupeaux doit permettre quant à lui de mettre en évidence les relations de concurrence et de complémentarité, entre les différents systèmes d'élevage, pour l'utilisation des ressources fourragères, en particulier pendant les périodes de plus faible disponibilité, et de repérer les éventuels déficits.

L'analyse du calendrier de travail est particulièrement importante : des opérations culturales telles que le labour, le semis, le repiquage ou le sarclage peuvent être difficiles à réaliser en temps et en heure. On peut observer, y compris dans des exploitations de petite taille (Haïti, Burundi, Madagascar, Vietnam...), des déficits en main d'œuvre, au moment des pointes de travail.

Les temps de transport ne doivent pas être oubliés : en l'absence de moyens de transport lourd et de voies de communication, le transport des matières lourdes telles que récoltes et fumier représente un temps de travail considérable qu'il faut souvent réaliser pendant les périodes de pointe de travail agricole. La reproduction de la fertilité sur les parcelles cultivées et par conséquent les rendements peuvent s'en ressentir.

Comprendre les critères de choix d'affectation

Dans le cas d'une forte concurrence entre sous-systèmes productifs, l'exploitant doit faire des choix d'affectation. De manière générale, il est indispensable de comprendre comment il définit les priorités d'affectation des ressources dont il dispose :

- > *à court terme* : au moment d'une période de pointe de travail ou de soudure : choix d'affectation de trésorerie, de force de travail, de fourrage...
- > *à moyen terme* : choix d'un assolement, d'investissement en intrants...
- > *à long terme* : choix d'un investissement, de réalisation d'un aménagement foncier, de développement d'un système de culture ou d'élevage...

Le calendrier de production et le calendrier alimentaire

Le calendrier des productions représente les principales périodes de récolte dans l'année. Il est important de distinguer les cultures dont le cycle s'achève à la fin de la saison des pluies, de celles qui sont moins saisonnières (bananiers) ou qui fournissent des récoltes en période de soudure, comme certains tubercules ou certains arbres, dont la récolte peut être complètement décalée dans le temps par rapport aux cultures annuelles. Il est intéressant de rapprocher ce calendrier des productions du calendrier alimentaire de la famille, en observant si l'étalement et la diversification des productions de l'exploitation, ainsi que les conditions de stockage des produits, permettent de faire face aux besoins alimentaires du paysan et de sa famille tout au long de

l'année, ou s'ils doivent avoir recours à des achats. Cela nécessite de préciser la destination de chaque récolte ou produit animal : autoconsommation, intraconsommation, vente.

Les périodes de soudure

L'observation du calendrier des productions consommées sur l'exploitation permet de mettre en évidence d'éventuelles périodes de soudure, lorsque les disponibilités en produits vivriers sont épuisées et qu'il faut attendre la récolte suivante. Ces périodes peuvent devenir difficiles si la trésorerie de l'exploitation ne permet pas de se procurer sur le marché, souvent à un prix très élevé, les calories manquantes. Le calendrier alimentaire peut ainsi comprendre chaque année une ou des périodes de déficit, au cours desquelles se conjuguent soudure et déficit en trésorerie. Si des travaux difficiles (labour, abattis) doivent être réalisés à ce moment, l'efficacité de la main-d'œuvre familiale risque d'être réduite.

Le calendrier de trésorerie

L'analyse du calendrier alimentaire est indissociable de celle du calendrier de trésorerie. La compréhension de la trésorerie de l'exploitation est rendue complexe par le fait que le budget de l'exploitation agricole est inséparable de celui de la famille. Les flux monétaires de l'unité de production doivent être situés dans le temps et replacés par rapport aux principales dépenses de la famille : achat de produits vivriers en période de soudure, frais de scolarisation... La multiplication et l'échelonnement des productions permettent une trésorerie plus aisée, en étalant les recettes, ce qui est précieux lorsqu'il est difficile d'avoir recours à un système bancaire pour épargner ou emprunter. Il est important d'analyser, à cette occasion, le rôle de l'élevage dans la gestion de la trésorerie de l'exploitation.

Les périodes de soudure alimentaire coïncident fréquemment avec la nécessité d'effectuer des dépenses de production : achat de main-d'œuvre ou de semences. Si l'exploitant n'a pu épargner et s'il ne peut avoir accès à des revenus extérieurs à cette période, la situation peut devenir critique : le recours à l'emprunt à des taux usuraires, la vente sur pied de la récolte ou à la mise en gage de terres peuvent devenir les seules issues. L'emprunt pour des dépenses de production ou de consommation oblige souvent le paysan à vendre tout ou partie de sa production à la récolte, lorsque le prix est le plus bas, pour rembourser au plus vite le capital emprunté et les intérêts souvent très élevés dans les systèmes de crédit informels. Il faut repérer si le recours à ces pratiques est régulier ou exceptionnel (mauvaise récolte, conjoncture de prix temporairement défavorable).

● Les relations de l'exploitation avec l'extérieur

La compréhension du fonctionnement du système de production demande enfin de prendre en compte les relations qu'il entretient avec les autres agents économiques : autres exploitations de la région, commerçants, Etat... Un système de production agricole est en effet un système ouvert. Il faut par conséquent connaître les conditions d'accès et les rapports de prix pour les achats d'intrants et d'équipement, la vente de produits agricoles, la location de terre, la location de main-d'œuvre, les emprunts de capital.

L'exploitant peut également exercer des activités non agricoles : cueillette, pêche, travail de journalier agricole, artisanat, commerce... Ces activités extérieures fournissent des revenus complémentaires qui peuvent jouer un rôle déterminant, particulièrement en période de soudure. Elles peuvent également contribuer à la capitalisation ou aux dépenses courantes de l'exploitation. Il convient de les situer dans le temps, en les replaçant par rapport au calendrier de trésorerie de l'exploitation.

Selon les périodes auxquelles elles sont pratiquées, ces activités peuvent être complémentaires ou concurrentes des activités agricoles de l'exploitant. En cas de concurrence, l'exploitant est conduit à renoncer à une partie de ses revenus extérieurs, ou au contraire à retarder la réalisation d'opérations culturales ou d'élevage sur son exploitation. Il est nécessaire de comprendre comment il établit ses priorités.

LE CALCUL DES PERFORMANCES ÉCONOMIQUES

L'évaluation des performances économiques d'une exploitation permet d'en éclairer le fonctionnement et de tracer ses perspectives d'évolution. Ces performances s'évaluent de deux manières complémentaires :

- > *du point de vue de la collectivité*, par la mesure de la création de richesse : valeur ajoutée et productivité du travail ;
- > *du point de vue de l'exploitant*, par la mesure de la rentabilité : revenu agricole et revenu total.

Tableau 3. Calcul des principales grandeurs économiques

produit brut : valeur des productions finales (vendues ou autoconsommées par la famille de l'exploitant)
- consommations intermédiaires: consommation de biens ou services de durée annuelle
= valeur ajoutée brute
- amortissements économiques: consommation de biens ou services de durée pluriannuelle
= valeur ajoutée
- salaires versés à la main-d'œuvre extérieure
- fermages, métayages...
- intérêts des emprunts
- impôts et taxes foncières
+ subventions
= revenu agricole
+ autres revenus
= revenu total

Le calcul du produit brut, des consommations intermédiaires et de la valeur ajoutée brute peut s'effectuer système de culture par système de culture et système d'élevage par système d'élevage, à partir de la caractérisation technique de ces systèmes. Dans un deuxième temps, on somme les différentes valeurs ajoutées brutes pour passer au calcul de la valeur ajoutée de l'ensemble de l'exploitation.

● **L'évaluation du produit brut**

L'évaluation du produit brut s'effectue à partir des rendements moyens obtenus pour les cultures ou les animaux au sein du système d'élevage ou de culture considéré, en ne comptabilisant pas les intraconsommations⁴ qui ne sont pas des productions finales mais intermédiaires. Par contre, les produits autoconsommés par la famille de l'exploitant font bien partie de la production finale de l'exploitation.

Pour un système de culture donné, le produit brut moyen se calcule en supposant qu'il y a correspondance entre rotation et assolement : on ajoute les produits bruts moyens obtenus pour chaque culture ou association de culture pratiquée au sein de la rotation, divisés par le nombre d'années de la rotation.

Exemple de calcul de produit brut annuel moyen pour une rotation de deux ans

1^{ère} année : maïs-haricot-pois d'Angole / *2^{ème} année* : pois d'Angole, sur une surface totale de 1,5 ha, en supposant que la totalité de la production nette (hors semences) de grains est autoconsommée ou vendue, le produit brut annuel moyen se calcule de la manière suivante :

1.5 ha x [1/2 x (rendement net moyen du maïs dans l'association x prix du maïs + rendement net moyen du haricot dans l'association x prix du haricot + rendement net moyen du pois d'Angole en première année dans l'association x prix du pois d'Angole) + 1/2 x (rendement net moyen du pois d'Angole 2^e année x prix du pois d'Angole)]

● **L'estimation du prix des produits**

L'estimation du prix des produits peut ne pas être aisée. En effet, ils connaissent généralement de grandes variations au cours de l'année, entre la période de récolte, où les prix sont relativement bas, et la période de soudure, où les prix flambent. Pour les produits vendus, le prix retenu sera celui correspondant à la période à laquelle la vente est effectuée. Pour l'autoconsommation, l'estimation du prix des produits est plus difficile à réaliser : le prix sera plus élevé pour un agriculteur qui produit suffisamment pour assurer l'alimentation de sa famille sans avoir recours à des achats en période de soudure, que pour celui qui ne produit pas suffisamment et qui devra acheter ce même produit lorsque son prix de marché est très élevé. On pourra donc souvent prendre le prix moyen au cours de la période pendant laquelle le produit est consommé, en considérant qu'il s'agit là d'un moindre achat.

● **Le calcul de l'amortissement**

L'amortissement pris en compte pour le calcul de la valeur ajoutée est l'amortissement économique, qui mesure la dépréciation annuelle du bien calculée sur sa durée réelle d'utilisation (cf. tableau 4).

⁴ Flux internes au système de production : consommation par le cheptel de l'exploitation, semences auto-produites...

Tableau 4. Calcul de l'amortissement économique

	prix du bien dans l'état dans lequel il a été acheté (neuf ou occasion) mesuré en monnaie d'aujourd'hui
–	prix du bien dans l'état dans lequel il sera en fin d'utilisation sur l'exploitation mesuré en monnaie d'aujourd'hui
:	durée réelle d'utilisation sur l'exploitation

Pour une plantation, l'investissement s'élève aux frais d'installation de la plantation auxquels viennent s'ajouter les frais d'entretien au cours de la période qui s'écoule avant son entrée en production. La durée d'amortissement est la durée de vie de la plantation.

Cet amortissement économique est différent de l'amortissement comptable, qui répond à des préoccupations de fiscalité. Il est calculé sur la base d'une durée normative d'utilisation du matériel, souvent plus courte que la durée réelle d'utilisation prise en compte pour le calcul de l'amortissement économique.

Les valeurs à comparer

Afin de pouvoir effectuer des comparaisons, il s'avère utile de ramener la valeur ajoutée et le revenu agricole aux principales ressources de l'exploitation, à savoir, pour des exploitations paysannes :

- valeur ajoutée brute/ha pour un système de culture ou totale/ha pour l'ensemble de l'exploitation, qui mesure le niveau d'intensification de la production ;
- valeur ajoutée/actif ou productivité du travail ;
- revenu agricole/actif familial.

Pour une exploitation capitaliste, il est par contre intéressant de rapporter le revenu agricole à l'unité de capital investi (mesure du taux de profit).

● **Évaluer le nombre d'actifs**

L'évaluation du nombre d'actifs agricoles peut se révéler difficile. L'activité agricole est irrégulière et présente des périodes de pointe de travail et des périodes de creux. Il y a deux manières de mesurer le nombre d'actifs participant à la production sur l'exploitation, correspondant à deux objectifs différents :

- > *calcul du nombre de journées de travail effectives sur l'exploitation*, afin d'évaluer la productivité et le revenu de la journée de travail. Cette donnée repose sur une mesure précise effectuée à partir des différents itinéraires techniques ;
- > *calcul du nombre d'actifs de l'exploitation* : il s'agit alors de mesurer le nombre d'actifs nécessaires pour faire fonctionner l'exploitation, c'est-à-dire les actifs présents, pondérés par leur coefficient de disponibilité lors des périodes de plus forte demande en travail, les périodes de creux pouvant quant à elles être utilisées pour réaliser d'autres activités rémunératrices. Cette donnée permet d'évaluer la productivité du travail et le revenu par actif familial.

L'entraide, qui est un échange de travail, ne modifie pas le nombre des actifs participant à la production sur l'exploitation, même si elle peut avoir des conséquences importantes sur le fonctionnement des exploitations.

● **Le calcul économique, outil d'analyse du système de production**

Le calcul économique contribue à éclairer le fonctionnement du système de production. La comparaison de la valeur ajoutée brute par hectare, par actif ou par journée de travail entre différents systèmes de culture et d'élevage permet d'interpréter les choix d'affectation des ressources disponibles entre les sous-systèmes productifs de l'exploitation, en particulier lors d'un goulet d'étranglement.

Le calcul de la rémunération de la journée de travail permet de comparer la rentabilité du travail au sein du système de production et hors de l'exploitation, lorsque des opportunités de travail externe existent.

La productivité du travail (VA/actif) permet de comparer l'efficacité économique de différents systèmes de production, critère important pour la collectivité lorsqu'il s'agit de choisir un projet de développement.

La comparaison du revenu agricole, puis du revenu total, à un seuil minimum de survie, ainsi qu'au revenu que l'on peut se procurer à qualification égale dans d'autres secteurs d'activité dans la région, permet de répondre aux questions posées sur l'évolution probable de l'exploitation agricole :

- > si l'exploitation dégage un revenu agricole inférieur au seuil de survie, l'exploitant et sa famille ne peuvent vivre qu'au prix des activités extérieures à l'exploitation. Si le revenu total reste inférieur à ce seuil, les besoins de la famille ne sont satisfaits qu'au prix du non-renouvellement des moyens de production de l'exploitation, donc d'une décapitalisation. L'exploitation est condamnée à disparaître à relativement court terme ;
- > si l'exploitation dégage un revenu inférieur au coût d'opportunité de la force de travail, elle a toutes les chances de disparaître à moyen terme, le paysan ou ses enfants ayant tendance à essayer de changer d'activité ;
- > si l'exploitation dégage un revenu agricole supérieur au seuil de survie, elle a une capacité d'investissement qui lui donne les moyens de se développer : agrandir sa superficie, son cheptel, acquérir un équipement plus performant, investir dans des itinéraires techniques plus coûteux en intrants... Si l'exploitant exerce des activités extérieures à l'exploitation agricole, il s'agit généralement d'activités plus rémunératrices que l'agriculture ou l'élevage, mais nécessitant un capital de départ relativement important.

Bibliographie

- DUFUMIER M., *Les projets de développement agricole. Manuel d'expertise*, CTA-Karthala, Paris, 1996.
- LANDAIS E. & BALENT G., *Introduction à l'étude des pratiques d'élevage extensif*, in *Pratiques d'élevage extensif : identifier, modéliser, évaluer*, E. LANDAIS éd. INRA 1995, collection Etudes et recherches sur les systèmes agraires et le développement, pp 13 - 36.
- MONDAIN MONVAL J.F. (IRAM), *Diagnostic rapide pour le développement agricole*, 1993 Paris. Ed. GRET, ministère de la Coopération, ACCT, Coll. LPS n°18.
- Paysans, systèmes et crise, Travaux sur l'agraire haïtien. Tome 3 : Dynamique de l'exploitation paysanne*, SACAD Université Antilles-Guyane & FAMV (Faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire) Université d'Etat Haïti, 1994.

Faciliter l'émergence et la diffusion des innovations

À partir des contributions de P. Bal (GRET), C. Castellanet (GRET) et D. Pillot (GRET)

● *Les caractères de l'innovation en agriculture*

● **Qu'est-ce qu'une innovation ?**

Une innovation est l'adoption, par un nombre significatif de producteurs d'une région, d'une façon de faire différente. On parle de « *nouvelle combinaison des moyens de production* » (Schumpeter), ou encore de « *greffe de techniques, de savoirs ou de modes d'organisation inédits sur les techniques, savoirs ou modes d'organisation en place* » (Olivier de Sardan).

Autour de la production agricole, les innovations peuvent concerner des champs très divers. Elles peuvent être :

- > *techniques* ; elles concernent alors les façons de produire, de transformer les produits ou d'exploiter les ressources ;
- > *sociales* ; on parle souvent d'innovations organisationnelles : apparition de nouvelles formes d'organisation du travail ou de formes associatives pour avoir accès au crédit, utiliser des intrants, mettre en marché les productions ;
- > *institutionnelles* ; c'est-à-dire porter sur les lois et les règles qui gouvernent les relations entre les individus : nouvelles règles foncières régissant l'accès à la terre ou son exclusion, règles de gestion de l'eau dans un périmètre irrigué, etc.

Il va de soi que cette énumération est loin d'être exhaustive.

L'innovation peut aussi être :

- > *simple* : elle introduit peu de changements dans l'exploitation. Exemple : la substitution d'une variété par une autre (à condition que les exigences culturales restent identiques) ;
- > *irradiante* : adoptée pour résoudre un problème sectoriel, elle a des conséquences en chaîne sur l'ensemble de l'exploitation. Exemple : la culture attelée ;
- > *systémique* : elle exige l'adoption simultanée de diverses techniques cohérentes entre elles (par exemple la lutte contre la dégradation de la fertilité).

Bien entendu, plus une innovation est complexe, plus son appropriation et sa généralisation vont être délicates.

● Un changement durable

Il ne faut pas confondre un paysan qui essaye une nouveauté et un paysan qui innove véritablement. On ne peut parler d'innovation que lorsque des producteurs se sont réellement appropriés une technique et qu'ils savent et qu'ils peuvent la reproduire de façon dominante dans leurs itinéraires techniques sans l'appui forcément éphémère de structures-projet. Il en est de même pour les innovations organisationnelles.

Or, beaucoup de soi-disant innovations sont en fait des changements qui tiennent le temps d'un projet, parce que celui-ci, par sa présence, crée une situation artificiellement favorable : les revenus qu'il distribue stimulent le marché local et la demande de produits nouveaux ; la présence d'animateurs extérieurs à la société locale empêche les conflits de s'exprimer immédiatement alors que l'innovation heurte les intérêts de certains groupes. Lorsque le projet se retire, ces conditions peuvent disparaître et les paysans revenir alors à leur pratiques antérieures.

Il existe aussi des phénomènes de réversion des innovations en dehors de toute intervention de projet. Des progrès techniques, des formes nouvelles de groupement ou de régulation se font jour, se développent puis s'effacent et tombent en désuétude.

● Un phénomène courant

L'innovation est souvent une raison d'être essentielle des actions de développement. Mais il faut se souvenir que c'est, fort heureusement, d'abord un processus propre à chaque agriculteur ou groupe d'agriculteurs, en dehors de tout dispositif d'appui. Depuis des siècles, l'essentiel du progrès technique a d'abord été le fait des agriculteurs eux-mêmes. Ils ont créé des techniques, qui se sont ensuite étendues par l'imitation et les échanges informels. Ils ont souvent su emprunter à d'autres sociétés des espèces cultivées et des techniques de culture qu'ils ne connaissaient pas. Ainsi, le manioc et le maïs sont arrivés en Afrique en provenance d'Amérique latine. Ils y ont été intégrés dans des systèmes de culture fort différents de ceux selon lesquels ils étaient cultivés dans leur région d'origine.

● Innovations endogènes et exogènes

Aujourd'hui encore, tous les paysans expérimentent des innovations. Certaines sont d'une importance très modeste, d'autres sont plus significatives : elles introduisent un changement plus important dans la combinaison des moyens de production ou dans les résultats obtenus.

Les actions de développement, la recherche agronomique, la vulgarisation, les dispositifs de conseil agricole ou de formation ne génèrent qu'une petite fraction des innovations agricoles qui sont tentées chaque jour sur la planète. Il est essentiel de savoir s'intéresser aux innovations spontanées ou endogènes, qui sont en général moins visibles parce qu'on n'y prête pas la même attention. Elles présentent souvent le grand avantage d'être d'emblée en cohérence avec les systèmes de production dans lesquels elles ont été produites. En revanche, il serait naïf de croire que, sous prétexte qu'elles sont d'origine locale, elles sont forcément adaptées à toutes les situations individuelles. Tout au contraire, leur intérêt se limite souvent, mais pas toujours, aux producteurs dont la logique de fonctionnement est très proche de celle qui animait le groupe de pionniers.

À côté des innovations endogènes, les innovations exogènes sont celles qui tiennent à une technique ou un mode d'organisation complètement apporté de l'extérieur. Il peut s'agir d'une technologie produite par la recherche agronomique ou bien de transferts à partir de situations similaires dans d'autres régions ou d'autres pays. Leur intérêt est souvent exactement inverse des précédentes : telle quelle, leur adaptation aux systèmes locaux est rare. Ces innovations nécessitent un travail de mise au point, d'ajustement et de transformation en général important.

En revanche, elles peuvent plus facilement concerner un groupe plus large de producteurs, puisqu'elles n'ont pas été conçues à partir d'un système contraignant d'exploitation. Construites à partir de références qui sont tout autres que celles auxquelles les paysans ont accès, elles peuvent permettre d'élargir formidablement la gamme des techniques et des modes organisationnels.

En pratique, l'expérience montre que la plupart des innovations importantes correspondent à un mélange d'endogène et d'exogène : une référence extérieure est recombinaison localement par les paysans selon des modalités ou des systèmes qui leur sont propres. Aussi les écarts que l'on constate chez les producteurs entre le modèle initial et la pratique telle qu'ils la reprennent, ne doivent surtout pas être considérés comme des déviations regrettables, mais plutôt comme des enrichissements positifs.

L'illustration la plus commune de ce mélange concerne les modalités de culture d'une nouvelle espèce ou d'une nouvelle variété. Lorsqu'elle est introduite, elle est en général accompagnée de recommandations sur la préparation du sol, les densités de semis, la fertilisation... La plupart du temps, les paysans modifient très vite ces paramètres. Ils intègrent la nouvelle espèce dans des associations de culture inédites ; ils adaptent la densité aux caractéristiques de leur propre milieu, ils bouleversent les modalités de fertilisation.

D'autres recombinaisons sont plus complexes, comme le montre l'exemple qui suit.

Combinaisons d'innovations endogènes et exogènes : l'exemple d'Anjouan aux Comores

Dans les années soixante-dix, les structures chargées du développement agricole introduisirent dans l'île d'Anjouan aux Comores du matériel végétal avec différents objectifs : des légumineuses arbustives (*Pterocarpus indicus* et *Gliricidia sepium*) furent multipliées pour servir de tuteurs à la culture du poivrier et de la vanille. D'autres plantes furent importées pour produire du fourrage et développer la production laitière, pour laquelle on vulgarisa la construction d'étables fumières. Les paysans ne montrèrent guère d'intérêt à l'époque : on conclut rapidement à l'échec et le projet fut abandonné.

Plusieurs années plus tard, on s'aperçut que les paysans avaient en fait parfaitement récupéré les nouvelles espèces introduites, mais en les recombinaut d'une façon différente de ce qui avait été imaginé au départ. Les espèces arbustives étaient utilisées pour clôturer les parcelles par des haies vives, formant progressivement un bocage. Ces clôtures mises en place diminuaient les risques de destruction des cultures par les animaux en divagation et constituaient un premier moyen de lutte contre l'érosion. De plus, les cultures fourragères, voire les cultures de rente (vanille et poivre notamment) étaient souvent intégrées en bordure, voire à l'intérieur de ces haies. Le bétail, au lieu d'être concentré dans des étables fumières (ce qui imposait des transports considérables de fourrages et de fumier), était mis au piquet à l'intérieur des parcelles ainsi aménagées et les déjections enrichissaient ainsi directement le sol juste avant les mises en culture. Dès lors, il devenait possible de changer radicalement le système de culture en introduisant des espèces plus exigeantes que celles qui étaient cultivées auparavant : bananier, taro, niébé, tabac, cultures maraîchères.

Le calendrier cultural s'en trouva profondément modifié, la mise en place des cultures devenant beaucoup plus étalée dans le temps. Les pointes de travail se trouvèrent plus étalées, surtout pour les femmes : sarclage, récolte et décorticage du riz. En une dizaine d'années, le système changea complètement, sans qu'aucun appareil de développement ne vienne appuyer ce changement.

Pour autant, il n'aurait pas été possible sans l'introduction préalable du matériel végétal ainsi recombinaut...

● **Les conditions de l'innovation**

Une innovation n'est appropriée que si elle satisfait à un certain nombre de conditions. Depuis toujours, les agronomes et les sociologues ont cherché à comprendre comment naissent les innovations et ce qui fait qu'une technique nouvelle, ou une forme d'organisation originale, est appropriée ou pas. Il n'y a bien sûr pas de réponse définitive à une telle question, tant les paramètres qui interviennent sont nombreux et complexes. Il est toutefois important de garder en mémoire quelques leçons simples tirées de l'expérience.

● **Un avantage réel**

L'innovation doit d'abord apporter un avantage réel à ceux qui l'adoptent, en comparaison du système antérieur. Concernant la production agricole, elle peut permettre de produire davantage ou de mieux vendre son produit sans augmenter le travail nécessaire : c'est le cas, par exemple, de la substitution d'une variété sensible à une maladie par une variété résistante. L'innovation peut aussi permettre de gagner du temps, et donc d'améliorer la productivité du travail.

La diffusion du semoir au Sahel

Dans les zones sahéliennes, la diffusion rapide du semoir, tracté par un âne ou un cheval, s'explique sans doute parce qu'il a permis une mise en place rapide des cultures, ce qui est déterminant pour sécuriser les productions dans une région très exposée aux risques climatiques. Là où la terre était abondante, il a permis aux familles concernées d'augmenter les surfaces cultivées, et, donc, leur revenu. Combiné à la houe Sine, au Sénégal par exemple, il permet des gains importants et la pénibilité du travail de sarclage s'en trouve considérablement réduite.

● **Un coût supportable**

Il ne suffit cependant pas qu'une innovation puisse apporter un supplément de revenu ou un allègement du travail pour qu'elle marche. L'innovation ne doit pas, par ailleurs, induire des charges nouvelles insupportables.

Pour reprendre l'exemple d'une variété nouvelle, si celle-ci est plus productive, elle sera souvent plus exigeante en intrants ou plus sensible aux maladies. Même si un calcul économique simple montre qu'en mettant davantage d'engrais ou en traitant, l'utilisation de la nouvelle variété permet d'accroître la marge brute produite, seuls les producteurs qui ont les moyens de faire face à ces charges pourront en fait être concernés par cette innovation.

Dans une telle configuration, le changement technique peut nécessiter des innovations en chaîne : changement de variété, mise en place d'un système d'approvisionnement en intrants, système de crédit associé... L'innovation, prise globalement, n'est plus un simple produit, elle devient tout un processus.

● **Une introduction progressive**

L'innovation doit pouvoir être compatible avec le système technique en place et s'y introduire en ne générant que des bouleversements limités et progressifs, que l'agriculteur va pouvoir « digérer » progressivement. Il est tout à fait exceptionnel qu'un système technique entièrement nouveau puisse se substituer d'emblée à un système ancien. En ce sens, une innovation prend toujours du temps, et d'autant plus qu'elle est complexe.

● **La prise en compte du risque**

Adopter une innovation, c'est souvent prendre un risque. Même si de multiples essais réalisés antérieurement ont validé les résultats d'une nouvelle technique, on ne peut être assuré que l'innovation, une fois introduite dans les conditions de fonctionnement d'une exploitation agricole ne se traduira pas par des résultats dégradés. Ce caractère risqué concerne la quasi-totalité des innovations. La sous-estimation des risques induits est une tendance générale dans les projets de développement, et explique nombre d'échecs cuisants de la vulgarisation.

Dans le cas d'une innovation simple d'intensification, le seul fait d'avoir à faire davantage de dépenses pour mettre en place les avances aux cultures est générateur de risques.

Si la saison des pluies est particulièrement défavorable, ou si la maîtrise des parasites n'est pas assurée, un rendement nul signifie un résultat encore plus négatif si on a investi !

Dans des cas exceptionnels cependant l'innovation réduit les risques, comme pour les variétés hâtives là où la saison des pluies est très courte.

C'est pourquoi les paysans préfèrent souvent commencer petit et étendre progressivement l'utilisation de l'innovation. Selon les innovations, ce comportement pragmatique et prudent n'est toutefois pas toujours possible. C'est aussi pourquoi les paysans plus aisés sont plus facilement innovateurs que les paysans pauvres : leur capacité à prendre des risques est supérieure.

● Des réactions différenciées

Il résulte des observations précédentes qu'il est rare qu'une innovation convienne à tout le monde, de la même façon. Dès lors, il est souvent utile de distinguer, au sein de la population, des groupes qui rassemblent ceux qui se trouvent intéressés par le même type de contraintes et d'innovation. On gagne aussi, en vulgarisation ou en conseil de gestion, à disposer de messages de départ différenciés, susceptibles de convenir à plusieurs catégories.

● La circulation de l'information

Une innovation émerge d'autant plus facilement que les producteurs concernés peuvent l'observer chez les autres et en analyser l'intérêt pour eux-mêmes. Or, ces caractères sont moins fréquemment réunis qu'on ne l'imagine souvent.

En premier lieu, l'observation chez les autres n'est pas toujours possible. Certes, une nouvelle culture se voit dans les champs, mais on ne voit ni les engrais qu'on y a mis, ni le travail qu'il a fallu fournir. Ces paramètres suscitent souvent interrogations et méfiance. Les contacts directs et les échanges oraux entre producteurs peuvent permettre de surmonter ces appréhensions.

En second lieu, le succès chez un voisin ne suffit généralement pas à convaincre que c'est intéressant pour soi-même. « *C'est bien pour lui, mais chez moi, c'est différent...* », entend-on. Une telle réticence est d'ailleurs parfois justifiée, surtout dans le cas d'innovations complexes qui ne conviennent pas à tous les systèmes d'exploitation.

C'est ici une grande limite des champs de démonstration mis en place par des projets ou des services de vulgarisation : ils n'emportent pas la conviction, car les paysans savent parfaitement que ces cultures n'ont pas été mises en place avec les mêmes contraintes que celles qu'ils connaissent chez eux : pointes de travail, manque de trésorerie, approvisionnements déficients, difficultés de commercialisation, etc.

Il en est parfois de même avec les paysans pilotes ou les paysans relais si on ne prend pas soin de les choisir en respectant la diversité existante. Le seul fait que ces agriculteurs soient indemnisés par un projet suffit souvent pour que leurs résultats soient mis en doute par les autres, etc. Là encore, la possibilité de discuter les conditions de succès aussi bien que les résultats obtenus ailleurs doivent souvent accompagner l'observation.

Tous ces paramètres expliquent le succès inégal des innovations par des facteurs liés à leur adaptation aux objectifs et aux contraintes techniques ou économiques que connaissent individuellement les producteurs.

Un tel cadre ne suffit cependant pas : il faut le compléter par la prise en compte des enjeux sociaux qui sont soulevés par la diffusion de l'innovation.

● **Les processus de diffusion**

● **Les résistances**

L'innovation transite par des individus qui occupent une place particulière dans la société locale. On dit qu'ils sont des porteurs sociaux. Ces individus ont plus ou moins de crédibilité, ils font partie de familles, de lignages, de réseaux plus ou moins reconnus et respectés.

Dans certains cas, l'innovation doit d'abord être reprise par eux avant que les autres se sentent autorisés à l'adopter pour leur compte.

Le rôle des anciens

Ainsi, aux Comores, pour reprendre l'exemple déjà cité sur l'extension des enclosures de parcelles agricoles, le mouvement ne s'est vraiment étendu qu'à partir du moment où les anciens des villages ont commencé à mettre cette innovation en pratique. Auparavant, c'était en quelque sorte leur faire injure que de ne pas cultiver comme eux-mêmes le faisaient, et seuls quelques immigrants marginaux pouvaient s'autoriser un tel affront.

Dans d'autres cas, l'innovation est rapidement cantonnée à un groupe particulier, ce qui peut permettre aux autres d'évacuer son caractère menaçant.

Un exemple classique de ce type de situation concerne le séchoir coquillage, parfois utilisé en Afrique de l'Ouest pour sécher les produits maraîchers. Il a été largement approprié par les femmes, au point qu'il est lui-même en quelque sorte devenu une affaire de femmes. Or, le maraîchage n'est pas une activité réservée aux femmes, même si celles-ci sont très majoritaires. Les jeunes ou les cadets qui doivent se constituer un revenu monétaire le pratiquent souvent, mais il est rare qu'ils osent acquérir un séchoir et sécher leurs excédents.

Il faut aussi admettre que les sociétés agropastorales dans lesquelles le développement agricole s'opère ne sont ni homogènes ni consensuelles. Les individus qui les composent n'ont ni les mêmes intérêts, ni les mêmes stratégies. L'introduction d'une innovation sert forcément certains d'entre eux et en contrarie d'autres. Il peut en résulter des résistances ou des sensibilités particulières.

Par exemple, il est évident que la mise en place de cultures marchandes va dans le sens des intérêts des commerçants, même si ceux-ci ne commercialisent pas directement les produits en question. Une société plus intégrée dans les échanges aura plus facilement recours à leurs services. Ils vont alors peser de toute leur influence en faveur de l'innovation. À l'inverse, la mise en place d'un système de microcrédit d'accompagnement ira à l'encontre des intérêts des usuriers.

Dans les bas-fonds humides d'Afrique de l'Ouest, traditionnellement valorisés par les femmes ou d'anciens groupes d'esclaves, les aménagements et les améliorations de la riziculture ont entraîné le retour des hommes des ethnies dominantes qui tendent à reprendre le contrôle du foncier.

De la même façon qu'il peut être utile de distinguer des groupes d'intérêt autour d'une innovation particulière, il est intéressant d'identifier les groupes dont les intérêts sont contrariés. L'opposition de certains à une innovation d'apparence pourtant très technique peut prendre la forme d'affrontements très ouverts.

Le maïs en France

Dans le sud-ouest de la France, à la fin des années 50, la diffusion du maïs hybride en remplacement des variétés locales a donné lieu à des oppositions épiques. Face au maïs local (le «grand roux»), bien adapté à l'intraconsommation par les petits élevages familiaux, le maïs hybride d'origine américaine exigeait des intrants coûteux et nécessitait d'entrer dans une agriculture commerciale. Les agriculteurs capables de réaliser les investissements nécessaires étaient plutôt les paysans aisés, ou les jeunes, qui bénéficiaient de crédits de la part de l'Etat. Cette frange moderniste était couramment liée aux mouvements chrétiens. Au contraire, les partisans du maïs local étaient plutôt les paysans pauvres, de tradition politique radicale, anticléricale et anti-américaine. C'est ainsi qu'une innovation technique somme toute banale s'est transformée en un affrontement politique entre une frange cléricale, traditionnellement conservatrice et pro-américaine, mais ici moderniste et très favorable au changement, et une frange populaire de «gauche», résistante ici à l'innovation.

Plus souvent, l'opposition est sourde, peu visible de l'extérieur, mais non moins redoutablement efficace.

● **Les modèles de diffusion**

La diffusion de l'innovation à partir des premiers innovateurs relève donc de processus complexes. Une innovation simple, peu risquée, correspondant à l'intérêt d'un très grand nombre, diffusera d'elle-même. En revanche, une innovation systémique, ne correspondant qu'à l'intérêt d'un petit nombre, rencontrant l'opposition d'une fraction influente, aura beaucoup plus de difficultés à se généraliser, même auprès de ceux pour qui elle semble représenter un avantage évident.

Cependant, tout n'est pas dans la nature de l'innovation. Les circuits de circulation de la connaissance et du savoir à l'intérieur de la société interviennent également. Appuyer des processus de diffusion une fois que l'innovation est déterminée, c'est forcément intervenir sur ces facteurs.

Plusieurs modèles ont été proposés pour rendre compte de la diffusion d'une innovation. Nous ne citons ici que les trois principaux, qui présentent tous des intérêts et des limites.

● **Le modèle épidémiologique de Rogers**

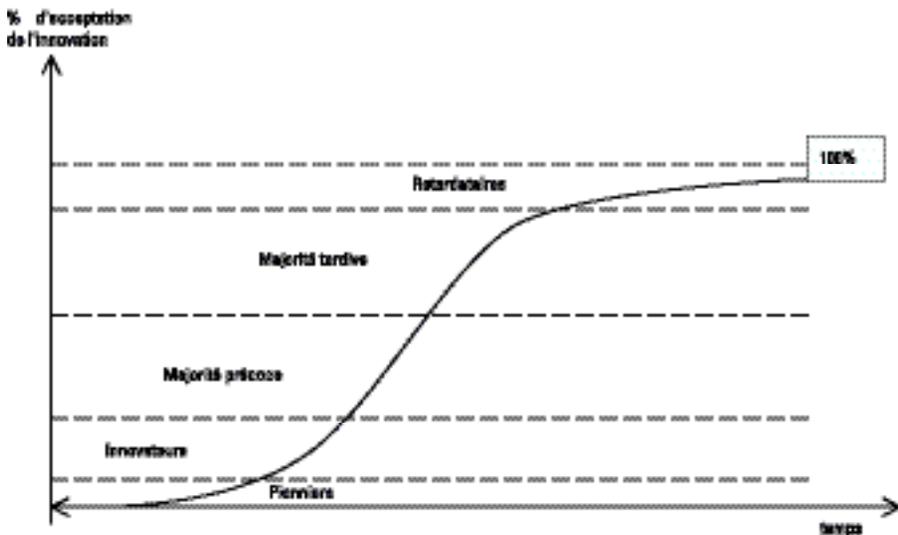
Selon Rogers, l'innovation atteint d'abord un premier individu d'une population (ou un premier village d'une région) et se diffuse ensuite spontanément de proche en proche par effet de contamination, un peu comme une épidémie. Ce modèle rapporte le nombre d'adoptants en fonction du temps. La courbe est alors en S et permet de distinguer cinq types d'adoptants : les pionniers, les innovateurs, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires.

Le modèle de Rogers rend assez bien compte de la diffusion des innovations simples et qui ne représentent pas des enjeux sociaux contradictoires. On cherche alors à identifier les pionniers et les innovateurs, de sorte à pouvoir concentrer le travail

initial avec eux. On constate alors souvent que les pionniers et les innovateurs ont un statut social plus élevé, sont plus instruits et participent davantage à la vie associative que les adoptants ultérieurs.

On peut aussi chercher, dans la phase suivante, à identifier les individus sensibles à l'innovation, car comme lors d'une épidémie, certains individus sont plus réceptifs que d'autres et vont devenir à leur tour des vecteurs d'extension.

La limite de ce modèle, c'est qu'il intègre très mal les différences qui peuvent exister entre les producteurs quant à leur intérêt pour l'innovation.



► Figure 1 : La diffusion de l'innovation selon le modèle de Rogers

● **L'innovation comme expérimentation populaire**

Non seulement les systèmes de production des paysans sont le plus souvent étroitement adaptés à leur environnement, mais ils sont aussi le produit de micro-innovations qui les transforment en permanence. L'innovation endogène, appuyée sur ces savoirs locaux, est alors présentée comme celle qui a le plus de chances d'être massivement adoptée, car elle est forcément cohérente avec les autres aspects de l'agriculture. Pour favoriser sa généralisation, il suffirait alors de repérer, dans ce foisonnement d'expériences paysannes, celles qui sont les plus porteuses pour d'autres acteurs que ceux qui en sont à l'origine et de faciliter la communication directe entre les acteurs.

On doit à ce courant de pensée la reconnaissance des logiques paysannes et de la capacité d'adaptation des sociétés agraires. Il reste que les paysans ne peuvent se saisir que de ce dont ils sont informés, ce qui limite sérieusement l'éventail réel de leurs choix.

● **L'innovation et les systèmes de connaissance**

Même si les innovations que peut adopter un agriculteur sont en fait conditionnées par les contraintes du milieu, par sa position dans la société, par l'inertie de son système de production, par les effets induits que cela peut générer, il lui reste le plus

souvent une marge de manœuvre : il peut décider ou non d'agir dans le sens de l'adoption, du rejet ou de la transformation de l'innovation. Sa décision va donc en partie dépendre de sa perception des choix qui s'offrent à lui. Comme, par ailleurs, il ne peut s'approprier que ce dont il a connaissance, une question essentielle est celle des canaux et voies par lesquelles se fait la communication entre les producteurs et circule l'information.

De fait, les techniciens, conseillers agricoles et paysans parlent rarement le même langage. Au-delà des traductions approximatives du français ou de l'anglais vers les langues nationales, c'est tout un travail pédagogique et d'innovation linguistique qui doit s'effectuer pour que l'agent technique et les paysans se comprennent réellement. Il en est de même pour les autres langages (dessins, schémas) qui peuvent avoir, pour celui qui les découvre, une signification parfaitement opposée au message voulu. Par exemple, une flèche signifie rarement une relation de cause à effet pour quelqu'un qui n'y est pas habitué...

Au-delà des problèmes de langage, tout message est compris par celui qui l'entend selon sa propre grille d'analyse et d'interprétation. Cela signifie que le même fait va être interprété et compris de façon différente par le technicien qui dispose d'une formation de base scientifique et par le paysan qui interprète les choses en fonction de son accumulation d'expériences et de sa propre vision du monde.

Ainsi en riziculture, les paysans reconnaissent facilement l'intérêt d'une fertilisation azotée, dont les effets se voient rapidement sur la couleur de la végétation. Pourtant, le plus souvent, ils interprètent souvent cet effet comme celui d'un médicament qui guérit une maladie. Pour le technicien, en revanche, l'azote agit en augmentant le tallage et la surface de photosynthèse. C'est donc plutôt un aliment qu'un médicament. Cette différence d'interprétation peut paraître subtile. En réalité, elle engendre des comportements tout à fait différents quant aux pratiques d'épandage de l'engrais.

L'interprétation médicament conduit à attendre de constater que le riz jaunisse et s'étiolle pour appliquer l'urée. Il est souvent alors trop tard pour bien la valoriser. On la concentre aussi là où le riz semble souffrir le plus.

Une interprétation nutritionnelle conduit au contraire à appliquer l'azote avant que la plante souffre d'un déficit, de sorte qu'elle optimise ses capacités. On évite surtout de la concentrer là où le riz est plus faible, car cela se traduit souvent par d'autres problèmes (borers, mauvaise reprise), et, donc, une plus faible capacité à la valoriser à ces endroits.

Dans une telle situation, former des producteurs sur des recettes techniques de type « *l'engrais se met au 5^{ème} jour après le repiquage* », ou pis encore « *mettre l'engrais avant le repiquage* » ne sert à rien. Tant que les modèles d'interprétation resteront ce qu'ils sont, les comportements ne changeront guère. On se trouve donc renvoyé à la nécessité de formation sur l'interprétation plutôt que sur les techniques elles-mêmes.

Le monde des techniciens est souvent incapable de saisir comment et à quel point les paysans réinterprètent leur messages en fonction de leur propre vécu. Pour encourager le changement technique, la capacité à écouter est pourtant au moins aussi importante que la qualité des messages ou celles des supports utilisés pour les transmettre.

APPUYER L'ÉMERGENCE ET LA DIFFUSION DES INNOVATIONS

Dans l'histoire de l'appui au développement, les méthodes d'intervention ont varié au gré de l'évolution des contextes, des politiques macroéconomiques ou des effets de mode. Souvent, on a cherché à tirer des expériences réussies une formule universelle, sans cependant parvenir à une méthodologie reproductible avec succès dans tous les contextes.

Les programmes de «formation et visites» (cf. chapitre 224) ont obtenu de bons résultats en Inde, mais se sont révélés insuffisants dans des contextes où l'environnement socio-économique des exploitations était contraignant.

L'approche recherche-développement, qui prenait le contre-pied de cette démarche globalisante en prônant un travail de recherche adapté à chaque environnement local, n'a pas réellement réussi à avoir des impacts à grande échelle.

Les approches par filière sectorielle ont aussi fait leurs preuves tant que la filière est restée porteuse.

Aujourd'hui, les approches participatives, qui cherchent à replacer le paysan au centre du processus de vulgarisation, dominent le paysage. Elles conduisent les opérateurs à soutenir les organisations professionnelles, pour la prise en charge du test des innovations, mais surtout pour la mise en place des conditions nécessaires à leur adoption.

● **Préparer une intervention**

● **Définir un public prioritaire**

Par rapport à un problème donné, la première question à se poser est «*quels types d'exploitation ou d'individu sont concernés ?* » La réponse à cette question donne une première sélection des bénéficiaires potentiels d'une action liée à ce problème.

Il est cependant probable que la population identifiée ne soit pas homogène. La seconde étape est donc de constituer des sous-groupes en fonction des facteurs limitant prioritaires.

Si le problème prioritaire à traiter est la santé animale, on peut par exemple distinguer : les villages excentrés pour qui la contrainte prédominante est l'approvisionnement en vaccins et en médicaments ; les paysans pauvres qui manquent d'argent liquide pour payer les services de vaccination ou de soins ; les paysans moyens dont la principale contrainte est la compréhension de la dynamique de contamination des animaux. L'analyse du problème et la recherche de solution ne seront pas les mêmes entre ces différents groupes. Tous probablement ont besoin d'un appui en formation, mais les premiers ont aussi besoin de mesures d'accompagnement, de type crédit et organisation de l'approvisionnement.

Enfin, le troisième niveau d'interrogation concerne les membres de la famille impliqués dans l'atelier de production considéré. Trop souvent, les séances d'information ou de formation réunissent seulement les chefs d'exploitation si le sujet est considéré comme prestigieux ou, inversement, une personne secondaire si le sujet semble de portée limitée.

Imaginons que pour l'élevage de volailles, la femme soit chargée de nourrir les animaux, et le mari responsable des achats pour l'exploitation, comme les médicaments.

Dans le cas d'une intervention sur la nutrition des animaux, ce sera donc la femme qu'on cherchera prioritairement à sensibiliser. Dans le cas d'une intervention sur la santé des animaux, la femme qui est au contact permanent de l'élevage sera de nouveau ciblée, mais le mari devra lui aussi être inclus dans le processus, puisque c'est lui qui devra prendre la décision de mettre en œuvre les dépenses nécessaires.

Tableau 1. Exemple d'intervention sur l'élevage de volailles

Secteur	Membres de la famille	Groupe d'exploitations	Contrainte prioritaire
<i>Nutrition</i>	Femme	Tous	Savoir
<i>Santé</i>	Homme + femme	Tous Paysans excentrés Pauvres	Savoir Approvisionnement Trésorerie

● Où rechercher des solutions adaptées ?

Face à un problème identifié, plusieurs solutions sont envisageables. Avant d'entrer dans un processus de dialogue avec le groupe prioritaire, l'agent de développement doit préalablement avoir recherché les solutions envisageables. Cette recherche peut s'effectuer à quatre niveaux.

● *Dans la communauté rurale*

Face à une question technique ou économique à résoudre, avant de rechercher des solutions dans la littérature ou les centres de recherche, il est important de regarder autour de soi et d'identifier les paysans innovateurs. En effet, l'analyse de la diversité des exploitations agricoles (cf. chapitre 31) révèle des pratiques variées au sein d'une communauté rurale. Souvent, les paysans les plus en contact avec l'extérieur prennent l'initiative de tester des techniques appliquées ailleurs mais encore inconnues dans leur zone d'origine.

● *Dans une autre communauté rurale de la région*

À une échelle un peu plus large, il peut s'agir d'une commune ou d'un district voisin qui a connu un développement plus précoce en raison de conditions favorables : proximité d'un marché, d'un centre de vulgarisation, installation de jeunes diplômés d'écoles d'agriculture etc.

● *Dans les instituts de recherche*

Les instituts de recherche agronomique disposent parfois de solutions pertinentes mais faiblement diffusées dans le milieu paysan. En particulier pour l'introduction d'une nouvelle variété ou d'une nouvelle espèce, les stations de recherche disposent souvent de larges éventails génétiques.

● *Dans la littérature*

Il se peut que dans d'autres régions du monde, des réponses originales aient été trouvées à une question posée, et que le transfert d'expérience puisse se révéler pertinent.

Ces différents niveaux peuvent se compléter pour établir un éventail de solutions possibles. Les producteurs peuvent alors choisir individuellement ou collectivement les solutions qui leur conviennent. Il ne s'agit cependant pas pour l'agent de développement de consacrer six mois à cette recherche. Du point de vue de sa crédibilité vis-à-vis des paysans, il est important qu'il puisse proposer rapidement des éléments de réponses. Aussi doit-il s'appuyer sur des réseaux qui facilitent l'accès à l'information : personnes ressources, associations locales, revues spécialisées, outils multimédia... Il est important de ce point de vue que la structure qui l'emploie encourage une circulation rapide et non hiérarchique de l'information.

Imaginons que, dans notre zone de travail, un arbre fruitier soit très sensible aux attaques d'un champignon. Le tableau ci-dessous propose plusieurs solutions, présentant chacune des avantages et des inconvénients. La solution idéale sera probablement de combiner les trois innovations : remplacement progressif des arbres par des variétés résistantes, taille pendant la période de transition et utilisation de produits fongicides pour compléter les effets de la taille, mais avec un protocole de traitements simplifié.

Tableau 2. Les diverses solutions en cas d'attaque d'arbres fruitiers par un champignon

Solution possible	Avantages	Inconvénients
Variété résistante	Eradication à long terme du problème	Le remplacement du verger demande un investissement important en temps et en capital, et le retour en production prendra plusieurs années.
Produits fongicides	Solution très efficace à court terme	Coût des traitements, nécessité de disposer des produits fongicides, de pulvérisateurs, apprentissage nécessaire, risques éventuels pour l'environnement.
Taille raisonnée au moment des infestations et après la récolte	Solution relativement efficace à court terme	Forte mobilisation de main-d'œuvre, surveillance constante du verger.

● Évaluer les conditions et les effets de l'innovation

Pour chaque solution, l'agent de développement doit s'interroger sur les conditions nécessaires à son adoption par les différents sous-groupes de la population prioritaire. Il doit également repérer les éléments du système de production et de son environnement qui vont être modifiés en cas d'adoption.

● Les conditions d'adoption

Certaines relèvent de l'environnement de l'exploitation : accès au foncier, aménagement du territoire et équipements, gestion de l'eau, accès aux intrants, cadre légal, marchés, organisation sociale, culture et traditions.

D'autres correspondent à des modifications indispensables du fonctionnement de l'exploitation : calendrier des activités et organisation du travail, gestion de la trésorerie, acquisition de compétences.

À ce stade, l'objectif n'est pas encore de chercher comment mettre en œuvre ces changements, mais simplement de les répertorier pour en discuter avec les paysans.

● **Les effets prévisibles**

L'évaluation des effets d'une innovation est nécessaire pour discuter de sa pertinence. Elle se conduit à deux niveaux :

- > *l'exploitation* : sécurité alimentaire, revenus, rémunération de la main-d'œuvre, pénibilité du travail, trésorerie, gestion de la fertilité, risques technico-économiques, insertion sociale, effets sur les autres activités de l'exploitation ;
- > *l'environnement* : gestion des ressources naturelles, risques environnementaux, organisation des marchés, rapports de pouvoir (internes et externes à la communauté).

Si l'innovation n'a jamais été testée dans les conditions locales, ces effets sont évalués sous forme d'hypothèses à confirmer ou infirmer par la suite.

Il est important d'insister ici sur l'obligation d'objectivité à laquelle est soumise l'agent de développement. Il ne s'agit pas pour lui de vendre un produit, mais de fournir aux paysans l'ensemble des informations nécessaires pour prendre une décision en connaissance de cause. Il est même souhaitable d'insister sur les contraintes de l'innovation pour permettre à la famille de se préparer à y faire face et limiter ainsi les risques d'échec ou de déception.

Tableau 3. Introduction d'une culture de riz en contre saison

	Conditions nécessaires	Effets
Exploitation de l'environnement	Aménagement d'ouvrages hydrauliques et organisation de la gestion de l'eau Mobilisation sociale pour obtenir des surfaces permettant de rentabiliser l'investissement dans l'hydraulique, et de limiter les risques de concentration des ravageurs Maîtrise des animaux élevés au niveau de la communauté pour éviter les destructions	Problème de partage pour l'usage de l'eau si elle est en quantité limitée, problème de parcours pour les animaux Risques sanitaires et environnementaux liés à la présence d'eau permanente (malaria, bilharziose) et à l'utilisation de pesticides Nouvelle organisation sociale Modification du marché du riz
Exploitation	Disponibilité en équipement de trait, en main-d'œuvre et en trésorerie durant la contre-saison Acquisition des savoirs et savoir-faire spécifiques à la riziculture de contre-saison (maîtrise des cycles, contrôle des ravageurs...) Choix d'un cycle de culture ne gênant pas le travail de la saison principale	Amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus si le marché est rémunérateur Nouvelle organisation du travail et de la trésorerie Nouvelle insertion au sein de la communauté, en particulier à travers l'organisation de l'irrigation. Risques d'échec élevés en première année

● **Choisir et tester l'innovation**

Lorsqu'il est en possession des éléments nécessaires pour animer un débat¹ l'agent de développement est prêt pour se lancer dans un programme d'intervention. À partir de là, l'ensemble de sa démarche doit être partagée avec les bénéficiaires potentiels.

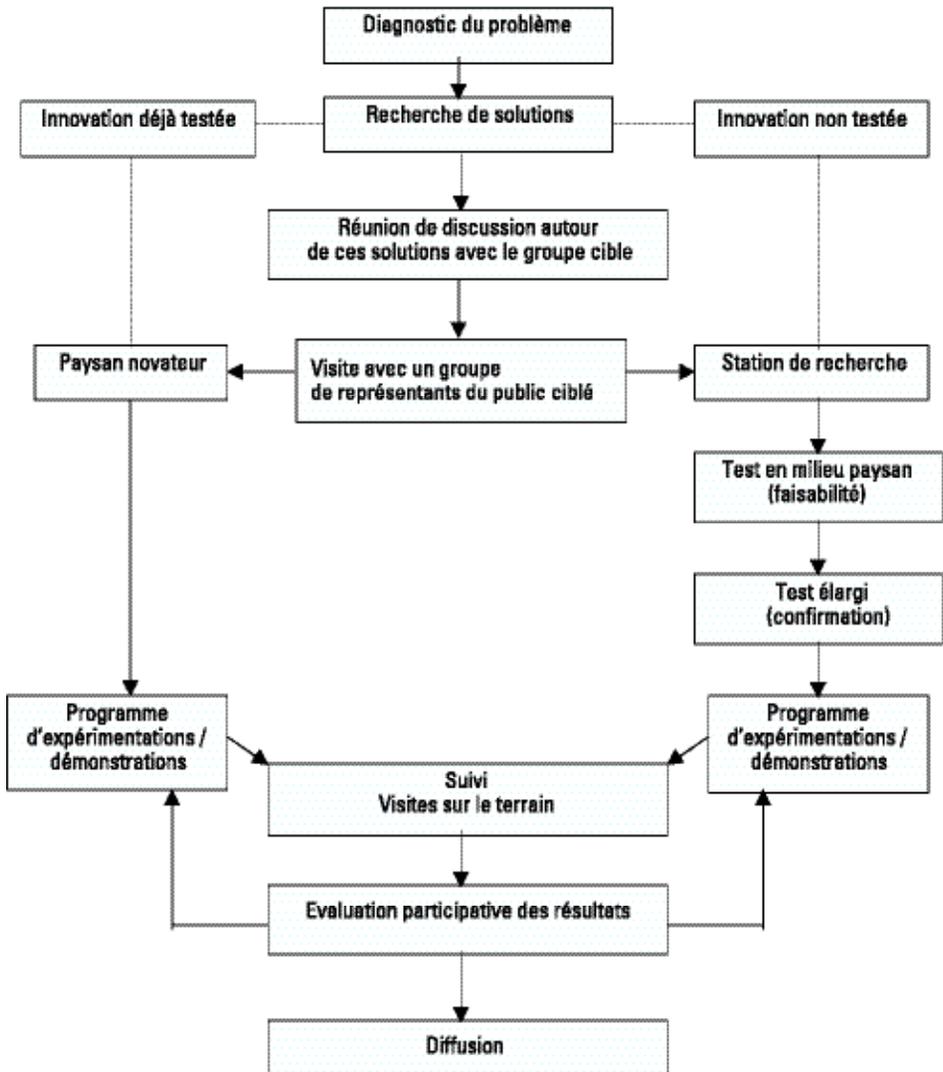
De nombreux cas d'échecs dans l'introduction d'innovations montrent que la solution proposée aux paysans était pertinente, mais qu'il ne se la sont pas appropriée en raison d'un manque de compréhension de la démarche. La participation des bénéficiaires permet de s'assurer que le diagnostic des problèmes est partagé, que les choix

¹ Diagnostic et exemples d'innovations permettant de faire face à certaines contraintes identifiées.

de solutions à tester sont adaptés aux conditions locales, et que ces derniers sont volontaires pour se lancer dans l'expérience.

Il est important ici d'insister sur deux points :

- > une innovation proposée de l'extérieur, sans concertation préalable des bénéficiaires, a toutes les chances de générer un sentiment de méfiance, voire de rejet de la part des producteurs ciblés ;
- > le travail participatif avec les producteurs ne peut en aucun cas remplacer le diagnostic préalable de la situation (cf. chapitres 11, 12, 32). Pour établir un dialogue équilibré et constructif avec les producteurs, l'agent de développement doit avoir procédé aux étapes préparatoires décrites précédemment.



➤ Figure 2. Processus d'identification et de test des innovations

● **Travailler avec des groupes**

Le travail avec des groupes se révèle souvent pertinent, même pour l'introduction d'innovations à bénéfice individuel : nouvelle variété, nouvelle pratique culturale, nouvel équipement individuel... On peut en effet souligner quatre avantages majeurs du travail en groupe.

● ***Un effet psychosociologique***

D'une part, le changement fait peur en raison des incertitudes et des risques qu'il génère par rapport aux pratiques traditionnelles dont les effets sont parfaitement maîtrisés. Se lancer à plusieurs dans une nouvelle expérience a un effet rassurant. D'autre part, de nombreuses sociétés rurales sanctionnent l'originalité et l'individualisme. Issue d'un processus de réflexion collective, l'innovation n'apparaît pas comme la volonté d'un individu de se distinguer, mais comme une évolution nécessaire de la communauté. Elle est ainsi plus facilement adoptée.

● ***Un effet intégrateur***

L'un des objectifs poursuivis dans le développement est de limiter la différenciation sociale et la marginalisation de certaines catégories de population : familles pauvres, femmes, ethnies minoritaires... Le groupe est un espace qui peut permettre de briser certaines barrières, où les membres apprennent à se connaître et à dialoguer. Dans certains cas, le groupe peut même devenir un espace de solidarité. Attention cependant aux pseudo-groupes formés par les différents membres d'une même famille et leurs dépendants qui n'auront évidemment pas cet effet égalisateur !

● ***Un effet dynamique***

Le groupe permet de valoriser la diversité des agriculteurs, de leurs situations et de leurs approches de leur métier. L'exemple du voisin est souvent le premier facteur déclenchant une modification du comportement. La confrontation de différentes expériences et de différents points de vue permet aux participants de découvrir des idées auxquelles ils n'avaient peut-être pas pensé individuellement, et favorise ainsi les initiatives.

● ***Un effet multiplicateur***

Pour l'agent de développement, travailler simultanément avec dix personnes, c'est économiser du temps par rapport à du conseil individuel, à condition bien entendu que l'effort nécessaire de mobilisation du groupe ne soit pas démesuré par rapport au gain de temps attendu. Quand l'innovation que l'on cherche à diffuser concerne un grand nombre de familles, il est donc préférable de stimuler la création de groupes pour faciliter la diffusion des informations.

Cependant, l'efficacité du travail en groupe dépend beaucoup de l'environnement culturel et physique dans lequel on se trouve. Il est plus efficace, par exemple, dans des plaines d'habitat groupé, à forte densité démographique et où les paysans ont une tradition de travail en groupe ou de réunions villageoises (comme au Vietnam), que dans certains milieux à faible densité, à habitat dispersé, et de tradition individualiste marquée (zones de colonisation en Amazonie par exemple). Dans ces milieux, et pour des types particuliers d'innovations, le conseil individuel, combiné avec d'autres

formes de diffusion de l'information (interview à la radio, par exemple) peut s'avérer plus efficace.

L'échange au sein d'un groupe n'est pas toujours spontané et nécessite un apprentissage. Il faut qu'une confiance s'établisse entre les membres, agent de développement compris, et que des règles de fonctionnement soient respectées. Chaque fois que possible, il est intéressant de s'appuyer sur un groupe existant, qui a déjà acquis ces habitudes : groupes d'entraide, coopératives, associations locales...

Il faut être attentif à ce que le groupe corresponde bien à la population prioritaire pour l'innovation que l'on cherche à diffuser. On cherchera ainsi à travailler avec des groupes d'intérêt, c'est-à-dire des familles dont les objectifs spécifiques dans le domaine considéré sont proches. En se basant sur des groupes d'intérêt, on s'assure de la motivation des participants. On peut par exemple contribuer à la constitution des groupes autour de la recherche de variétés ou de races adaptées à des contextes spécifiques, autour de la volonté de développer des jardins agroforestiers ou la pisciculture, autour de la commercialisation d'un produit particulier...

Les échanges se révèlent souvent plus équilibrés au sein de groupes homogènes. Ceux-ci permettent notamment d'adapter aux publics spécifiques les mesures d'accompagnement de l'innovation. Si on travaille par exemple sur l'élevage de volailles, on travaillera plus particulièrement sur la nutrition des volailles avec le sous-groupe des femmes, et sur l'organisation de l'approvisionnement en intrants avec le sous-groupe des paysans excentrés. Il est cependant souhaitable de mélanger à certains moments les groupes sociaux afin de favoriser l'effet intégrateur.

● **Diagnostic participatif et choix des orientations**

L'introduction et la diffusion d'une innovation sont des processus progressifs, qui exigent d'y consacrer le temps nécessaire. Il est important de ne pas court-circuiter certaines étapes afin de limiter les risques d'échec et de dégradation des relations avec les communautés paysannes.

● **Le partage du diagnostic**

La première étape du processus d'introduction d'une innovation est de partager le diagnostic de la situation avec le groupe concerné. L'objectif est de s'assurer qu'on n'a pas omis d'éléments d'interprétation des facteurs limitants identifiés, et surtout de discuter des conditions nécessaires à l'introduction de l'innovation pour juger si les producteurs sont prêts à s'engager.

Pour cela, une ou plusieurs réunions sont nécessaires. Le succès de cette étape repose beaucoup sur les qualités d'animation dont fait preuve l'agent de développement, et notamment sur ses capacités d'écoute, de questionnement et de suggestion.

La première qualité dont doit faire preuve l'agent de développement est l'écoute. Il n'est pas là pour expliquer aux paysans quels sont leurs problèmes et les solutions pour y faire face. Il est là pour amener les participants à formuler eux-mêmes leurs contraintes et à rechercher ensemble des solutions en fonction de leurs propres moyens.

Ce qui ne veut pas dire que l'agent de développement doit être passif. En s'appuyant sur le travail préparatoire qu'il a réalisé, son rôle d'animateur est d'attirer l'attention des paysans sur l'ensemble des conditions et des effets prévisibles des innovations

suggérées par les participants, et de les amener à imaginer les actions nécessaires à un succès de l'action.

Par exemple, si l'introduction d'une culture nécessite de l'irrigation, le groupe doit évaluer les besoins en eau, et s'entendre sur les travaux collectifs nécessaires pour aménager les ouvrages hydrauliques, sur les modalités de gestion de l'eau, sur la pertinence d'établir une taxe hydraulique pour entretenir les ouvrages entre deux cycles, sur les responsabilités par rapport à ces différents volets.

Lorsque les discussions bloquent, l'agent de développement doit présenter les recherches préalables qu'il a faites. Plutôt que de procéder à un exposé très détaillé des innovations possibles, il est préférable de faire une présentation courte et de laisser du temps à l'assemblée pour poser les questions que ne manqueront pas de soulever les points non abordés par l'agent. Il est en effet important de maintenir les participants dans un rôle actif.

Par exemple, pour reprendre le cas de l'attaque de champignons sur arbre fruitier, l'animateur s'en tiendra dans un premier temps à signaler qu'il existe des variétés résistantes. Les questions suivantes ne manqueront pas d'être posées : où, à quel prix, quel potentiel de production, quelle durée d'entrée en production ?

● ***Quelques règles de base pour l'animation de réunions avec des paysans***

Des objectifs clairs

Une réunion doit toujours commencer par un rappel du contexte, éventuellement des conclusions de la réunion précédente. Les objectifs de la réunion sont ensuite rappelés ainsi que l'ordre du jour, c'est-à-dire les questions qui vont être traitées. Au cours de la réunion, l'agent doit veiller à ce que cet ordre du jour soit respecté, et que des débats différents ne viennent pas parasiter la réunion. Il est cependant important de garder une certaine souplesse dans le processus de discussion, et l'ordre du jour peut être modifié à condition que le groupe soit conscient de ce changement et l'accepte.

Un discours simple et structuré

Parler un langage simple, utilisant le même vocabulaire que les paysans. Ne pas mettre plusieurs idées dans une phrase mais structurer clairement le discours. Être concis, éviter les prises de parole trop longues. Après chaque intervention d'un membre du groupe, résumer les idées principales.

Des supports visuels

Le support visuel renforce le discours et maintient l'attention des participants. Il peut s'agir d'un dessin sur un tableau, de posters, de transparents, de photographies, de diapositives ou de vidéos. Leur utilisation doit être articulée avec le discours. Lors d'une intervention d'un membre du groupe, le résumé auquel procède l'agent de développement peut également être restitué sur un tableau ou un poster, sous forme de mots clés ou de dessins.

Changer de rythme et de terrain

Les agriculteurs s'ennuient vite dans des séances de travail en salle. On sera donc attentif à en limiter la durée, à aménager des temps de pause ou des changements de rythme : alterner séances plénières et travaux en petits groupes, discours et projection de diapositives, présentations et questions, etc.

Mais surtout, chaque fois que possible, on privilégiera les discussions sur le terrain, par des visites d'aménagements, d'équipements, de parcelles, d'ateliers d'élevage, etc.

Gérer le partage de la parole

Souvent, un ou quelques paysans monopolisent la parole et empêchent les autres de poser les questions qui les intéressent. C'est le cas en particulier quand l'assemblée comprend des personnalités considérées comme représentatives de la communauté ou légitimes par rapport au sujet : chefs traditionnels, élus, membres d'associations... Face à eux, les autres hésitent parfois à prendre la parole. Pour permettre à chacun de s'exprimer, il est souhaitable de fixer préalablement avec le groupe des règles pour le déroulement de la réunion : limitation du temps de parole par intervenant, respect des intervenants, respect du rôle de modération joué par l'animateur.

Autre risque fréquent : celui du monopole exercé par l'agent de développement lui-même, qui poursuit un long monologue et ne répond aux paysans que pour renforcer son point de vue. Il s'agit bien d'engager un dialogue respectueux sur un pied d'égalité², et non d'imposer un point de vue supposé meilleur.

Synthétiser et conclure

À la fin de la réunion, l'agent de développement doit toujours résumer les points importants qui ont émergé des débats et des présentations, ainsi que les décisions qui ont été prises, afin que les participants repartent avec des idées claires. Une évaluation participative de la réunion peut permettre d'améliorer l'organisation des réunions suivantes. Il peut être suggéré à l'animateur de conserver sur un cahier ou un carnet les principaux points de la réunion. Ces notes l'aideront à préparer la réunion suivante. Être animateur n'est pas un don, c'est d'abord une question de travail personnel : une réunion se prépare.

● **La découverte de l'innovation**

Plus encore peut-être que d'autres catégories professionnelles, le paysan a besoin de comprendre avant de s'engager dans une nouvelle direction. Pragmatique, il veut être témoin des améliorations rendues possibles par l'innovation technique, et connaître ses effets sur l'organisation de son exploitation. Ainsi, en règle générale, le paysan modifiera rarement ses pratiques sur la base de simples recommandations.

● **Les visites entre paysans**

Comme mentionné plus haut, des innovations ont parfois déjà été testées par certains paysans de la zone ou d'une région proche. Il est alors fortement recommandé de s'appuyer sur ces exemples locaux pour sensibiliser les paysans et les amener à construire leur propre programme expérimental, tout en tenant compte des limites de cette démarche. Le succès chez un voisin ne suffit en effet pas à convaincre de l'intérêt d'une innovation pour soi-même.

Utiliser des exemples locaux pour stimuler et essayer de convaincre de la pertinence d'une innovation technique présente pourtant un double avantage. D'une part, en raison de la proximité géographique, l'environnement est souvent peu différent de celui des exploitations visées. Le transfert technique s'en trouve facilité.

² Le technicien domine mieux les informations techniques et scientifiques, mais les paysans connaissent mieux le milieu naturel et les itinéraires techniques adaptés à ce milieu.

D'autre part, c'est un paysan qui va présenter l'innovation à d'autres paysans. Psychologiquement, ces derniers sont rassurés et plus ouverts à l'écoute.

Il existe en effet toujours une barrière entre les paysans et les techniciens, censés disposer de compétences ou de moyens très supérieurs à ceux des paysans, ou soupçonnés servir des intérêts différents des leurs. Par contre, entre paysans, c'est le même langage qui est parlé, et les mêmes objectifs qui sont poursuivis. La réceptivité des visiteurs est donc renforcée, et l'impact en terme de sensibilisation est plus fort.

L'agent aura au préalable visité les exploitations prises en exemple pour s'assurer que les conditions dans lesquelles l'innovation a été initialement mise en œuvre sont effectivement proches des conditions dans lesquelles se trouve le groupe avec lequel il travaille.

Le groupe de visiteurs ne doit pas dépasser dix personnes. Face à un groupe trop nombreux, le paysan novateur peut se trouver intimidé et ne pas parler librement de l'ensemble des avantages et des contraintes de l'innovation. D'autre part, plus le groupe est nombreux, plus le temps de parole de chacun est limité, et les échanges sont moins riches. Le groupe avec lequel le travail de diagnostic a été fait sélectionne donc des participants à la visite, représentant les différents groupes sociaux en présence.

De manière générale, un paysan novateur est fier de recevoir des groupes en visite pour parler de son expérience. L'événement est socialement valorisant. Cependant, il ne faut pas oublier que les paysans sont des acteurs économiques, et se trouvent souvent en concurrence les uns avec les autres. Il peut donc arriver que le paysan novateur n'ait pas intérêt à partager son expérience. Pour s'assurer de sa coopération, l'agent de développement doit établir une relation de confiance avec lui, et être éventuellement en mesure de lui proposer un appui spécifique qui lui permettra de maintenir une certaine avance technologique. Par exemple, des parcelles d'expérimentation pourront être mises en place chez lui (cf. chapitre 422).

Dans l'organisation de la visite, il est important de favoriser l'effort de concentration des paysans : on aménagera des temps de repos suffisants ; on respectera les heures de repas ; on sera attentif à servir des repas adaptés en quantité et en qualité aux habitudes du groupe, etc. On évitera de multiplier les objectifs de la visite pour que les conversations ne se dispersent pas.

Cependant, il ne faut pas négliger les effets secondaires des échanges inter-paysans. Si l'objectif premier était les techniques de culture des choux, il se peut que dans la conversation soit abordée la question de la gestion des animaux à l'échelle du village, un facteur qui peut se révéler déterminant pour la protection des parcelles de choux et sur lequel les paysans auront envie d'échanger leurs expériences. Le rôle de l'agent de développement est alors de veiller à ce que le sujet principal soit bien traité sous l'ensemble de ses aspects, mais il s'attachera aussi à favoriser des échanges plus ouverts en animant les débats.

Dès le retour de la visite, une réunion de synthèse doit permettre de récapituler avec le groupe les conditions d'adoption de l'innovation et ses effets sur les systèmes de production. Ces résultats seront ensuite restitués sous forme de poster par exemple, illustrés avec des photos, et ainsi partagés avec les autres membres de la communauté rurale.

Dans certaines circonstances favorables, après l'impulsion initiale donnée par les agents de développement, ce sont les paysans eux-mêmes qui deviennent les animateurs et conseillers techniques dans le cadre de réseaux d'agriculteurs expérimentateurs : c'est le cas des programmes «de paysan à paysan».

La réussite des programmes « *Campesino a campesino* »

Ce mouvement s'est particulièrement développé en Amérique Centrale sous le nom de « *Campesino a campesino* » (de paysan à paysan), où il a obtenu des résultats impressionnants. Les agriculteurs intéressés par ce mouvement sont en général motivés par une première visite auprès de paysans expérimentateurs ou innovateurs dans une autre région. La visite de groupe est l'occasion d'observer non seulement les innovations techniques, mais aussi la manière dont les autres agriculteurs s'organisent, les relations qu'ils entretiennent avec les autorités et les techniciens, etc. Ce sont les agriculteurs qui décident, à l'issue de la visite, quelles sont les innovations qu'ils souhaitent expérimenter sur leur exploitation. Cette expérimentation, qui n'est pas nécessairement appuyée par un technicien, fait l'objet de discussions, de visites et d'une évaluation au sein de la communauté d'origine de l'agriculteur qui s'engage à recevoir les visites et à faire connaître les résultats qu'il obtient.

Fréquemment, les innovateurs se transforment peu à peu en animateurs et en conseillers techniques respectés et consultés par d'autres paysans ; ils ne s'arrêtent pas aux premières innovations entreprises, et en initient fréquemment de nouvelles. Selon les cas, le rôle des techniciens et agronomes peut se réduire ou évoluer. Dans le meilleur des cas, l'agronome devient l'un des acteurs d'un dialogue entre paysans et techniciens sur le progrès technique. Ses connaissances scientifiques sont questionnées et évaluées, et ses suggestions discutées et souvent adaptées par les paysans, qui perdent leurs inhibitions vis-à-vis des intellectuels des villes.

Il faut cependant, là comme ailleurs, se garder d'en faire un modèle universel applicable partout. Ce type de réseau s'est bien développé là où existait un mouvement paysan actif, luttant pour la reconnaissance de ses valeurs et contre l'image d'infériorité souvent associée à leur activité, avec des jeunes agriculteurs ayant un bon niveau de formation initiale et souhaitant continuer à se former pour être reconnus comme professionnels de l'agriculture.

● **Le passage par la recherche en station**

Dans certains cas, les solutions possibles à un problème identifié ne sont pas encore mises en œuvre par des paysans de la région. La diffusion des innovations correspondantes prend alors plus de temps et demande à l'agent de développement plus d'énergie que dans le cas précédent. En effet, les paysans sont beaucoup plus prudents, car ils ne disposent pas d'exemple qui leur prouve que l'innovation peut effectivement devenir opérationnelle dans leurs conditions. La phase de sensibilisation est donc particulièrement importante.

L'innovation, lorsqu'elle s'y prête (c'est le cas des techniques culturelles), peut avoir été expérimentée en station de recherche. Dans ce cas, nous proposons la démarche suivante pour la première étape : réunion de discussion autour du problème, visite de la station de recherche avec un groupe de représentants du public ciblé, réunion de synthèse et de restitution.

L'agent de développement a un rôle important à jouer lors de la rencontre des paysans avec les chercheurs. En effet, il est fréquent que ces deux catégories professionnelles ne parlent pas le même langage, et que les paysans hésitent à prendre la parole face aux chercheurs. L'agent de développement sert donc parfois d'interprète, en reformulant les questions pour le chercheur ou les réponses pour les paysans dans un

langage plus approprié ou en les illustrant par des exemples. Il est important de bien préparer ces rencontres : discussion avec les paysans sur les questions qu'ils se posent, et rencontre avec le chercheur pour être sûr que des éléments de réponse seront apportés.

Il se peut enfin que la solution pressentie comme la mieux adaptée au problème posé ne soit ni mise en œuvre localement, ni même encore testée localement par la recherche. Il s'agit d'une technique appliquée dans un autre pays, d'une recommandation d'expert, ou même simplement d'une idée.

L'innovation peut dans ce cas être proposée comme thème d'expérimentation en station. Cela demande une collaboration étroite entre développeur et chercheur pour traduire une idée d'innovation en protocole expérimental capable d'apporter des réponses intéressantes aux questions que se posent les agriculteurs. Cela demande également de pouvoir gérer un délai important (plus d'une année en général) entre la question posée par les agriculteurs et la mise en place de tests de solutions chez eux.

● ***L'expérimentation chez les agriculteurs***

Pour des questions de temps ou de moyens, il est fréquemment décidé de tester l'innovation directement en milieu paysan. Il est alors impossible de montrer ses effets aux paysans avant les tests. Si des documents visuels ou audiovisuels existent, l'agent de développement tente de se les procurer pour les présenter en réunion. L'assistance d'un chercheur compétent sur le sujet, pour apporter des éléments de réponse aux questions des paysans et assister le processus d'expérimentation, est très utile à partir de cette étape.

● ***Le test et l'évaluation d'une innovation***

Si les premières étapes du processus se sont déroulées d'une manière satisfaisante, on peut prévoir que les producteurs concernés vont vouloir tester une innovation, éventuellement avec quelques adaptations locales. Une ou plusieurs réunions vont permettre de bâtir ensemble un programme d'expérimentation adapté. Ces expérimentations servent bien sûr d'abord à tester l'innovation, mais elles sont aussi un outil privilégié de sensibilisation.

● ***L'élaboration d'un programme d'expérimentation***

La mise en œuvre d'un programme d'expérimentation visant à tester l'innovation retenue répond à des modalités étroitement liées au type d'innovation. Nous voudrions ici attirer l'attention sur quelques précautions à prendre.

Limiter les conséquences d'un échec

Pour les activités à cycle court, il est impératif de passer par un test à petite échelle, sur un échantillon de familles, d'animaux ou de parcelles. L'expérience montre en effet que, quelles que soient soit la qualité du diagnostic et les précautions prises par les agents de développement et les bénéficiaires pour limiter les risques d'échec, ces risques ne sont jamais nuls.

Un groupe de volontaires doit se constituer pour tester l'innovation en première année. La taille de ce groupe dépend surtout du suivi que l'on désire opérer. Sa composition doit autant que possible être représentative des différents types d'exploitations intéressées par l'innovation.

Chaque fois que possible, on ne teste l'innovation que sur une partie de l'activité (10 ou 20 % de la surface, quelques animaux, etc.), pour limiter les conséquences d'un échec éventuel, mais aussi pour conserver au sein de l'exploitation un témoin qui permettra une comparaison avec le traitement innovant : différences de rendement, de poids...

Ces mesures de précaution sont encore plus importantes si l'innovation n'a pas encore été expérimentée localement. Chaque fois que possible, on privilégie alors deux cycles d'expérimentation. Pour le premier cycle, on travaille avec un petit échantillon de familles choisies parmi celles qui présentent le moins de risques : disponibilité suffisante en moyens de production et technicité élevée. Il s'agit alors d'un test de faisabilité. Pour le second cycle, on élargit l'échantillon à tous les types de familles. L'objectif est alors de confirmer les résultats acquis lors du premier cycle, mais surtout d'évaluer si l'innovation a un impact positif pour l'ensemble des catégories de familles représentées, ou seulement pour une partie d'entre elles.

En début d'expérimentation, il est utile de se faire conseiller par des personnes ressources choisies parmi celles qui ont été préalablement visitées : paysans novateurs de la zone ou d'une zone proche, chercheurs.

Partager les risques d'un échec

Malgré ces précautions, il faut prévoir dans le budget de l'expérimentation de couvrir partiellement les risques pris par les paysans expérimentateurs. L'objectif est qu'un échec de l'expérimentation ne conduise pas à une diminution de leurs revenus. Ainsi, si la nouvelle variété introduite révèle des rendements inférieurs à la variété traditionnelle, on versera à la famille après la récolte l'équivalent du manque à gagner. Pour des innovations de plus grande ampleur comme l'introduction d'un cycle de culture de contre-saison, le calcul d'une indemnisation est moins aisé. On peut par exemple garantir un rendement minimal permettant de couvrir le coût des intrants engagés. En cas d'échec, le foyer perd le travail qu'il a consacré à l'activité, mais il ne perd pas directement d'argent.

On sera cependant attentif à ne pas couvrir l'ensemble des risques. Il est en effet important que la famille partage ces risques, de manière à être motivée jusqu'à la fin de l'expérimentation. Si le producteur n'engage aucun moyen dans l'expérimentation, il l'abandonnera à la première difficulté.

Afin d'éviter tout malentendu en fin d'expérimentation, ces accords doivent donner lieu à un contrat entre les paysans expérimentateurs et l'agent de développement.

● **Le suivi et l'évaluation participative des résultats**

Si les premières étapes du processus ont conduit les paysans à tester l'innovation, c'est la phase d'expérimentation qui les convaincra ou non de l'adopter. La collecte de données quantitatives et qualitatives au cours de cette phase est déterminante.

L'observation

La priorité doit être donnée à l'observation du test sur le terrain et à l'échange d'expériences entre les paysans expérimentateurs. Bien animées, des séances de discussion collectives autour de l'expérimentation permettent de faire apparaître les difficultés rencontrées et les éléments d'appréciation qui suscitent l'enthousiasme ou le doute

chez les producteurs. La participation à ces visites d'agriculteurs non expérimentateurs constitue aussi une première étape de sensibilisation.

Il est par conséquent important au cours du cycle d'expérimentation d'organiser des réunions régulières sur le terrain. L'appréciation empirique des effets de l'innovation se révèle cependant souvent insuffisante, voire biaisée. En particulier, lorsque l'innovation modifie certaines traditions, les paysans peuvent se montrer peu objectifs.

La collecte de données et le suivi³

Des données chiffrées⁴ vont permettre de fournir des données complémentaires à l'avis des expérimentateurs.

Le suivi permet également de repérer les adaptations de l'innovation auxquelles procèdent certains producteurs afin de mieux l'adapter à leurs propres conditions. Ces initiatives individuelles peuvent se révéler pertinentes et mériter d'être diffusées auprès des autres familles.

Dans le cas d'une expérimentation sur plusieurs campagnes, le suivi permet d'évaluer l'évolution dans le temps des effets de l'innovation, liée à sa maîtrise croissante ou à la variabilité des conditions de production. La modification d'une pratique culturale, l'introduction du repiquage du riz en ligne par exemple, illustre les effets de la maîtrise croissante de la technique : en première année, changer ses habitudes nécessite une attention importante qui augmente les temps de travaux. Mais en seconde puis en troisième année, quand les automatismes sont acquis, les temps de travaux reviennent au niveau initial. Disposer de ce type de données encourage les paysans indécis à recommencer l'expérience en seconde année.

Enfin, les données du suivi vont permettre de dimensionner les mesures d'accompagnement. En effet, tant que l'innovation n'a pas été testée, les conditions nécessaires à son adoption ne sont qu'hypothétiques. Pour définir et dimensionner un dispositif financier, des aménagements hydrauliques, des capacités de stockage ou des actions de formation, il est nécessaire de quantifier les nouveaux flux de produits, de travail ou de capital.

Le choix de la précision du suivi relève des expérimentateurs et de l'agent de développement. Lorsque l'innovation entraîne des changements importants dans la gestion de l'exploitation, et lorsqu'on pressent que sa diffusion demandera d'importantes mesures de sensibilisation et d'accompagnement, on a intérêt à collecter des données nombreuses et précises. On met alors en place auprès des expérimentateurs des cahiers de suivi dans lesquels ils vont noter les opérations qu'ils réalisent en quantifiant les flux : kilos d'engrais épandus, surface concernée, prix des engrais, méthode d'épandage et temps nécessaire etc. Si la famille ne comprend aucun membre alphabétisé, c'est l'agent de développement qui remplit ce cahier. Si un membre de la famille peut le faire, l'agent de développement vérifie la cohérence des données et complète les données imprécises. Dans tous les cas, il doit procéder au cours de cette phase à des visites régulières aux familles.

3 Des éléments de méthode pour la conception des outils et l'organisation du suivi sont fournis dans les chapitres 212 et 422.

4 Temps de travaux, coûts de production, courbes de croissance, fréquence des maladies, niveau de production.

En fin de cycle d'expérimentation, l'agent de développement extrait des indicateurs synthétiques pour chaque foyer et une séance de travail avec la famille permet d'analyser ces données :

- > *le calendrier des activités et les temps de travaux.* Quels sont les changements intervenus dans l'allocation de la main-d'œuvre par rapport aux pratiques habituelles ? Dans quelle mesure ces changements constituent-ils un avantage ou une contrainte ?
- > *les actions collectives.* Lorsque l'innovation impose une entente collective, quelle a été l'implication de la famille ? Avantages ou contraintes ?
- > *les flux de produits.* Quels intrants ont-ils été nécessaires ? Comment la famille se les est-elle procurés ? Difficultés rencontrées ? Utilisation de la production supplémentaire ?
- > *les flux de trésorerie.* Comment la famille a-t-elle fait face aux besoins de trésorerie pour les investissements nécessaires ? Comment a-t-elle utilisé les revenus permis par l'innovation ?

À la fin du premier cycle d'expérimentation, une réunion générale avec le public concerné doit permettre de présenter et de discuter l'ensemble des données collectées. Sur la base de ces données et des appréciations des paysans expérimentateurs, les conditions nécessaires à l'adoption de l'innovation et ses effets sont réévalués. Cette évaluation collective permet de décider des suites à donner : abandon si l'innovation se révèle finalement inadaptée, nouveau cycle d'expérimentation avec certains aménagements si l'on considère que les performances peuvent être améliorées, ou diffusion de l'innovation si elle donne satisfaction. Dans ce dernier cas, les mesures d'accompagnement à prévoir doivent être discutées.

● **Accompagner la diffusion des innovations**

Nous avons montré précédemment que la diffusion d'une innovation est un phénomène complexe. Il faut pour l'encourager non seulement diffuser de l'information, mais aussi veiller à la mise en place des infrastructures et services nécessaires à son adoption : aménagements, formation, crédit, approvisionnement, accès aux marchés pour l'écoulement des produits.

Durant la phase expérimentale d'introduction de l'innovation, ces contraintes peuvent être levées au cas par cas, car le nombre de situations expérimentales est restreint. Le changement d'échelle nécessite de développer des outils de masse, à coût unitaire limité, pour diffuser l'innovation. L'objet de cette partie est de discuter de ces mesures d'accompagnement de la diffusion des innovations.

● **Sensibiliser**

De manière générale, l'homme est réfractaire au changement : « *on sait ce qu'on perd, on ne sait pas ce qu'on gagne* ». Les pratiques traditionnelles sont éprouvées ; on connaît leurs effets et leurs résultats, ce qui n'est pas le cas pour l'innovation tant qu'elle n'a pas été testée. En matière agricole, les paysans tentent en général de minimiser les risques. Une erreur au niveau des pratiques agricoles, et c'est le revenu de la famille qui est affecté, voire dans les cas les plus graves son alimentation ou même sa survie. De plus, le changement d'une pratique a bien souvent des conséquences sur plusieurs composantes des systèmes de production et peut donc profondément perturber le

fonctionnement de l'exploitation agricole : gestion de trésorerie, changement du calendrier des activités, organisation du travail.

● **Les médias généralistes**

Mais le changement est aussi un effet de masse. Quand une majorité de la population a changé son comportement, l'adoption de l'innovation devient une obligation sociale pour ne pas être marginalisé. Certains médias comme la radio, et de plus en plus la télévision, pénètrent profondément dans les campagnes et disposent d'une large écoute. Ils peuvent donc constituer des outils privilégiés pour diffuser des messages d'intérêt général : respect de l'environnement, gestion rationnelle des ressources naturelles, protection sanitaire des troupeaux, prévention des infestations de ravageurs ou des épidémies etc.

Il faut cependant être conscient des risques de l'utilisation des médias à large diffusion. Les populations rurales se montrent souvent peu critiques par rapport aux informations qui sont diffusées. Présenter une innovation technique réussie dans un certain contexte peut ainsi amener des paysans à la reproduire alors que dans leur propre contexte elle n'est pas adaptée.

Par exemple, un paysan en zone périurbaine est devenu riche en plantant des manguiers dans son jardin. La mangue devient alors pour d'autres paysans un modèle de développement, et ils vont investir dans cette culture, même si le marché pour ce produit n'existe pas.

Pour la promotion d'innovations techniques adaptées seulement à des contextes spécifiques, on choisira donc des réseaux d'information spécialisés ou locaux.

● **Les médias spécialisés**

Lorsque des structures spécialisées existent, il ne faut pas manquer de les utiliser (cf. chapitre 224). On est en effet certain dans ce cas de toucher un public motivé par les questions d'innovations. Il ne faut cependant pas penser que la diffusion d'informations par des créneaux spécialisés se révèle suffisante. En effet, beaucoup de paysans isolés par leur localisation ou par leur illettrisme restent encore en marge de ces systèmes. On s'attachera donc à encourager simultanément la diffusion d'informations par les réseaux locaux, qui eux pénètrent profondément la société.

● **Les réseaux locaux d'information**

Dans toute communauté rurale, il existe des espaces plus ou moins formels de partage d'informations : marchés, arbre à palabre, lieu d'affichage, réunions villageoises, associations locales, groupements de producteurs. Or ces canaux sont rarement sollicités par les agents de développement pour faire passer des messages.

Des posters bien illustrés sont souvent un moyen de capter l'attention des villageois pour diffuser des informations ou pour les inviter à des réunions d'information. L'agent de développement peut aussi solliciter la permission d'intervenir dans des réunions organisées autour d'autres sujets d'intérêt collectif (réunions villageoises) pour présenter son intervention. Il s'appuie pour cela sur des personnalités qui, par leur fonction, sont amenées à rencontrer la majorité de la population concernée : chef de village, chef religieux, responsable de coopérative, animatrice du groupe des femmes, commerçant, etc. Sensibiliser ces responsables locaux, c'est s'assurer d'une diffusion relativement large de l'information.

Pour s'assurer que l'information se diffusera au-delà d'un réseau limité, un clan familial par exemple, il est toujours souhaitable d'utiliser simultanément plusieurs réseaux.

● **Les démonstrations**

Comme nous l'avons souligné précédemment, les producteurs aiment observer directement les effets d'une innovation avant de l'essayer. Or, en changeant d'échelle, on ne peut plus envisager d'organiser pour tous des visites auprès de paysans novateurs ou d'instituts de recherche. On peut par contre amener l'innovation près des familles en établissant des démonstrations chez quelques paysans volontaires, bien réparties dans l'espace.

Ces démonstrations, s'il n'y a pas de contre-indication locale, doivent être signalées pour attirer l'attention : petites pancartes dans la parcelle, ou postées devant la maison où est localisé un équipement nouveau ou un essai sur l'alimentation des animaux. Des animations doivent être organisées autour de ces démonstrations. Par une information la plus large possible de la population locale, on proposera aux personnes intéressées de participer à une réunion sur le site de démonstration pour présenter l'innovation et les conditions dans lesquelles elle est testée. Plusieurs animations de ce type aux moments-clés sont parfois plus efficaces qu'une réunion unique.

● **Former les compétences locales**

Certaines innovations ne modifient pas les pratiques paysannes. C'est le cas par exemple de l'introduction d'une nouvelle variété dont les caractéristiques sont analogues à celles de la variété traditionnelle. Dans ce cas, des démonstrations se révèlent souvent suffisantes pour amener les producteurs locaux à l'adopter. Dans d'autres cas, des savoir-faire plus spécifiques sont nécessaires, et des programmes de formation doivent accompagner les démonstrations.

Les éléments de méthodologie relatifs à la conception de formations pour les agriculteurs sont développés dans le chapitre 224. Nous attirons ici l'attention du lecteur sur les relations entre le type d'innovation diffusée et le type de formation à prévoir.

● **Paysans-relais et spécialistes**

Certaines innovations correspondent uniquement à la modification des pratiques paysannes. L'ensemble des paysans intéressés doit alors bénéficier d'une formation spécifique sur la nouvelle pratique. L'agent de développement peut mener ces formations lui-même ou il peut s'appuyer sur des paysans-relais. Les producteurs ayant participé au test de l'innovation durant la phase expérimentale ont acquis le savoir-faire en question, et il est souvent pertinent de les mobiliser durant la phase de diffusion. Le message technique sera en effet mieux compris et accepté s'il est présenté aux paysans par l'un des leurs.

Pour que cette tactique puisse porter ses fruits, le paysan en question doit disposer d'une légitimité sociale suffisante pour être écouté par les autres. La seconde condition est de prévoir une rémunération du paysan-relais. Dans la plupart des cas, le prestige social dont il bénéficie en devenant formateur ne suffit en effet que temporairement à le motiver. Une indemnité, même modeste, lui permet de consacrer plus de temps à la formation.

Un autre avantage de travailler avec des paysans-relais est de démultiplier l'impact du programme de formation : un agent de développement forme dix paysans-relais, qui peuvent à leur tour former chacun dix paysans.

D'autres innovations requièrent en plus un savoir-faire spécialisé : dans le cas de l'introduction de la charrue attelée, il faut non seulement former les agriculteurs à la conduite de l'attelage et au maniement de l'outil, mais également former les forgerons à la réparation et à l'entretien des charrues. De même, l'amélioration de la santé animale passe par une formation de base de l'ensemble des éleveurs et par une formation plus poussée d'agents de santé pour quelques personnes qui assureront par la suite des prestations pour les autres.

Dans de tels cas, l'agent de développement doit amener la communauté rurale à sélectionner une ou quelques personnes disposant déjà d'une certaine compétence en rapport avec celle recherchée et à qui sera dispensée une formation complémentaire. L'agent s'assurera que la personne est motivée et qu'elle dispose dans la communauté d'une reconnaissance sociale, afin que les paysans n'hésitent pas à faire appel à elle. Dans la plupart des cas, l'agent de développement n'est pas en mesure d'assurer lui-même ce type de formation spécialisée : ce sont des professionnels du secteur considéré qui le font.

La formation de compétences locales contribue à la durabilité de l'innovation. Les communautés locales deviennent en effet capables de réagir par rapport à un nouveau problème technique sans avoir à solliciter d'appui extérieur. Les réseaux de paysans-relais ou de techniciens locaux ainsi créés peuvent par ailleurs devenir les moteurs de programmes d'échanges « *campesino a campesino* ».

● **Le conseil individuel**

Certaines innovations nécessitent de prendre en compte les particularités de chaque exploitation. On peut citer la mise en place d'un nouvel atelier de production ou toute innovation demandant à la famille un investissement important. De manière générale, il s'agit des innovations dont le succès dépend d'une meilleure gestion des ressources de l'exploitation : foncier, trésorerie, main-d'œuvre, relations entre agriculture et élevage, etc.

L'accompagnement de telles innovations nécessite un conseil individuel, mené par l'agent de développement, et suivi dans le temps. Il ne peut donc s'envisager qu'à une échelle limitée. Il nécessite un diagnostic approfondi de l'exploitation agricole, et un suivi des impacts de l'introduction de l'innovation sur son fonctionnement. Dans ce cas, le cahier de suivi des opérations est particulièrement important. La démarche est un accompagnement personnalisé au cours duquel la famille et l'agent de développement vont analyser en commun l'ensemble des modifications induites par l'innovation, et expérimenter diverses co-innovations permettant d'en limiter les contraintes et d'en améliorer les performances. Des éléments de méthode pour réaliser le diagnostic de l'exploitation sont présentés dans le chapitre 32.

● **Agir sur l'environnement socio-économique**

L'environnement socio-économique des exploitations joue un rôle majeur dans la prise de décision des agriculteurs, et notamment dans le choix de se lancer ou non dans une modification de leurs pratiques. Plusieurs domaines sont concernés.

● **L'aménagement et la gestion du foncier**

Certaines innovations nécessitent que soient réglées *a priori* les conditions d'accès aux ressources naturelles relevant du territoire de la communauté rurale. On peut citer la mise en place de vergers ou d'étangs, investissements à long terme qui nécessitent une sécurisation de l'accès au foncier.

● **Les approvisionnements**

Nombre d'innovations demandent le recours à des intrants : semences, engrais ou pesticides pour les cultures, jeunes animaux, aliments de complément ou médicaments pour les ateliers animaux, carburant ou pièces détachés pour une machine motorisée, contenants pour des produits issus d'une transformation, etc. Or, les filières d'approvisionnement couvrent rarement l'ensemble du territoire. Le problème est d'autant plus aigu que la zone d'intervention est éloignée des centres urbains. L'adoption de l'innovation est alors conditionnée par l'organisation des approvisionnements nécessaires jusqu'à l'exploitation agricole.

● **Le crédit**

Qu'il s'agisse de réaliser des investissements ou d'utiliser de nouveaux intrants, la disponibilité en trésorerie est un facteur limitant important pour les familles rurales. L'adoption des innovations est donc souvent conditionnée par un accès au crédit pour la majorité de la population ciblée.

● **La commercialisation**

Des innovations qui visent une augmentation des produits commercialisables ne rencontrent un écho favorable auprès des population ciblées que si la vente de ces produits est possible et rentable. L'existence d'un potentiel de développement des filières de commercialisation des produits considérés est donc une condition supplémentaire à l'adoption de ce type d'innovation.

Il est inconcevable d'envisager de confier à l'agent de développement la résolution de l'ensemble des contraintes liées à l'environnement des exploitations. Il est même fortement déconseillé de lui confier une responsabilité opérationnelle dans l'organisation des nouveaux services nécessaires. En effet, il perdrait alors l'objectivité qui est nécessaire à sa fonction d'information et de renforcement des capacités des producteurs, pris en porte-à-faux entre son rôle de conseiller et un rôle d'agent économique.

Il doit cependant contribuer à l'élaboration de solutions. C'est au moment du partage du diagnostic avec les bénéficiaires potentiels et des discussions autour des innovations possibles que l'essentiel du processus se joue. Durant la phase préparatoire, l'agent de développement fait le point sur les conditions nécessaires à l'adoption de l'innovation, et sur l'état des services aux producteurs. Au cours des réunions suivantes, il rappelle cet état des lieux aux participants et anime la discussion sur la mise en place de solutions. Il peut jouer un rôle de facilitateur pour amener l'ensemble des acteurs concernés à dialoguer et à chercher ensemble des solutions.

Des décisions d'expérimentation d'innovations, non pas dans le domaine technique, mais cette fois en termes organisationnel ou institutionnel peuvent être prises si la simple concertation entre acteurs ne permet pas de résoudre le problème. Il s'agit alors en général de fournir aux acteurs locaux des capacités de maîtrise d'ouvrage leur permettant d'organiser ou de prendre en charge directement les services qui

n'atteignent pas leur communauté. Des formations concernant la rédaction de cahiers des charges, de devis ou d'appels d'offre, la supervision de chantiers ou la réception de travaux, l'organisation de commandes groupées ou la gestion de stocks, la gestion de crédits sont alors fréquemment nécessaires.

Des éléments sur les filières d'approvisionnement et de commercialisation sont présentés dans le chapitre 222, sur le financement du développement dans le chapitre 223 et sur la gestion des ressources naturelles dans les chapitres 231, 232, 233, 234, 235 et 236.

● Les organisations professionnelles

L'Etat n'ayant pas les moyens d'organiser l'ensemble des services aux producteurs et les services commerciaux restant concentrés dans les zones où leurs activités sont plus rentables, certains projets d'appui au développement s'orientent vers l'appui à des organisations professionnelles. Celles-ci gèrent au niveau local tout ou partie des services nécessaires au développement de certaines productions. Autour d'une innovation ou d'un groupe d'innovations relatives à une production, des groupes d'agriculteurs s'organisent pour gérer collectivement non seulement la diffusion des informations, mais aussi la gestion des approvisionnements, les crédits nécessaires, et la commercialisation des produits, voire la recherche appliquée.

Cette approche présente trois avantages majeurs :

- > la maîtrise par les producteurs de l'ensemble des facteurs relatifs à l'innovation. La variation de l'un des facteurs peut alors être corrigée rapidement en ajustant les autres facteurs. Si les services sont indépendants les uns des autres, ce type d'ajustement est beaucoup plus difficile à négocier. Par exemple, l'augmentation du prix des engrais peut être amortie par un réajustement du conseil technique pour retrouver la dose correspondant à l'optimum économique ou par un changement des modalités des prêts de campagne : augmentation des plafonds ;
- > l'économie des ressources humaines et des coûts de transaction (temps passé en réunions, négociations, représentation...), permise par l'intervention de ces organisations dans plusieurs activités : approvisionnement, transformation, commercialisation etc. Concentrer les fonctions au sein d'une même structure permet de limiter le nombre de personnes impliquées dans la gestion et le nombre de démarches ou de réunions pour les producteurs ;
- > un meilleur contrôle des services par les producteurs : ce contrôle évite que ceux-ci ne soient dominés par des logiques bureaucratiques ou par des intérêts économiques ou politiques extérieurs au monde paysan. Par contre, cela ne garantit pas que le progrès technique soit leur principale priorité, d'autres fonctions (obtention de crédits ou d'intrants subventionnés) étant jugées prioritaires par les paysans organisés.

Si le travail avec des organisations paysannes présente des atouts certains, il possède également ses limites, parmi lesquelles le risque potentiel d'accaparement de la structure par une minorité sociale. Fréquemment, dans les organisations professionnelles, une minorité puissante dirige la structure et prend des décisions qui ne vont pas toujours dans le sens d'un bénéfice partagé entre l'ensemble des adhérents.

Le chapitre 221 est consacré aux organisations paysannes et aux programmes d'appui qui leur sont dédiés.

● **Les mesures incitatives**

Toutes les conditions nécessaires à l'adoption de l'innovation ayant été mises en place, des mesures incitatives peuvent se révéler utiles voire nécessaires. Lors de la phase expérimentale, nous avons conseillé de prévoir dans le budget une provision visant à partager les risques avec les familles en cas d'échec de l'introduction de l'innovation. En changeant d'échelle lors de la phase de diffusion, la couverture partielle des risques proposée précédemment devient difficilement envisageable. En effet, assurer une production minimale, par exemple, impose de disposer de données fiables sur les niveaux de production de chaque famille touchée. La mise en place d'un tel suivi représenterait un coût prohibitif, qui n'empêcherait de toute façon pas les escroqueries. Il faut donc imaginer des solutions alternatives.

● **Les subventions**

La plus classique des mesures incitatives est la subvention partielle de l'investissement nécessaire à l'innovation. Elle peut se présenter sous la forme d'un prêt bonifié, d'une aide directe ou d'une aide indirecte : rachat d'une part des produits obtenus à prix fixé, accès à un autre service sous condition d'adoption de l'innovation, par exemple vaccination gratuite des porcelets génétiquement améliorés...

Les subventions peuvent être le fait d'opérateurs privés dans certaines phases d'installation ou de développement de leurs activités. Cependant, dans 90 % des cas, elles sont le fait de l'Etat, utilisées comme outils d'application d'une politique de développement. Si l'Etat n'a pas devancé la demande paysanne, les bénéficiaires de l'innovation peuvent le solliciter, et l'agent de développement peut jouer le rôle de facilitateur, en aidant les producteurs à bâtir un dossier convaincant, et en organisant une réunion entre les agriculteurs et les autorités concernées.

● **Les animations spécifiques**

Une autre voie a parfois donné des résultats très positifs, celle de l'incitation sociale. Cette fois, on ne parle plus du risque lié à l'innovation, mais on valorise sa mise en œuvre. L'introduction du labour attelé devient un enjeu social si un concours de labour permet de glorifier les meilleurs conducteurs de charrues. Les foires sont également souvent utilisées pour promouvoir de nouvelles races animales ou de nouveaux produits transformés. Durant la phase de diffusion de l'innovation, l'agent de développement peut donc promouvoir ce genre d'animations.

Les mesures incitatives peuvent prendre bien d'autres formes ; elles dépendent des cultures locales et des ressorts qui permettent de lever les réticences et de renforcer l'enthousiasme. Dans tous les cas, l'agent de développement ne doit pas s'engager seul dans ces actions, mais s'assurer d'une collaboration active des organisations de producteurs.

● **Une grille d'aide à la décision**

Derrière le terme d'innovation se cachent des objets de natures très différentes, et que chaque objet ainsi que chaque environnement dans lequel on le place nécessitent une approche adaptée. Nous proposons ici une grille d'aide à la décision qui peut servir à la planification, à l'animation et au suivi du processus d'intervention.

● Les conditions nécessaires à l'adoption de l'innovation

● Trois questions

- > quel est le problème que l'on cherche à traiter ?
- > quels sont les objectifs de l'innovation recherchée ?
- > quel est le public concerné ?

Pour chaque innovation possible, on cherchera ensuite à répondre aux questions résumées dans le tableau 4 et à prévoir les actions à entreprendre et le suivi à mettre en place. Chaque fois que la réponse à la question « *ce facteur est-il limitant pour l'adoption de l'innovation ?* » est « *oui* », on cherchera à compléter les autres colonnes. Les deux colonnes grisées doivent être complétées en réunion avec la population concernée.

Tableau 4. Grille d'aide à la décision d'adoption et de diffusion de l'innovation

L'environnement des exploitations						
Champ	Limitant ? oui ou non	Modalités actuelles	Modalités requis	Action envisagée	Acteurs impliqués	Outils de suivi prévus
Accès au foncier						
Aménagements						
Gestion de l'eau						
Equipements						
Intrants						
Cadre légal						
Marchés						
Organisation sociale						
Culture et traditions						
L'exploitation						
Composante de gestion	Limitante? oui ou non	Modalités actuelles	Modalités requis	Action envisagée	Acteurs impliqués	Outils de suivi prévus
Calendrier des activités						
Organisation du travail						
Trésorerie						
Savoir						
Savoir-faire						

● L'évaluation des effets de l'innovation

Chaque fois que la réponse à la question « *ce facteur de production sera-t-il modifié par l'innovation ?* » est « *oui* », on cherchera à compléter les colonnes suivantes du tableau 5. Les deux colonnes grisées doivent être complétées en réunion avec la population concernée.

Tableau 5. Grille d'évaluation des effets de l'innovation

L'exploitation				
Facteur	Affecté ? oui ou non	Niveau actuel	Effets attendus	Outils de suivi prévus
Performances de l'activité				
Sécurité alimentaire				
Revenus				
Rémunération de la main d'œuvre				
Pénibilité du travail				
Trésorerie				
Les autres ateliers des systèmes de production				
Gestion de la fertilité				
Risques technico-économiques				
Insertion sociale				
Son environnement				
Facteur	Affecté ? oui ou non	Situation actuelle	Effets attendus	Outils de suivi prévus
Gestion des ressources naturelles				
Risques environnementaux				
Organisation des marchés				
Rapports de pouvoir (internes et externes à la communauté)				

Ces tableaux peuvent être remplis à trois étapes du processus :

- > *au moment du choix des innovations à tester* : on réfléchit alors aux actions envisagées et aux effets attendus ;
- > *lors de l'évaluation des tests effectués chez un nombre limité de producteurs* : on recense alors des actions menées et des effets constatés ;
- > *lors de l'évaluation après diffusion de l'innovation* : on recense également des actions menées et des effets constatés.

Bibliographie

- BOIRAL P., LANTERI J.F., OLIVIER DE SARDAN J.P. (ed.), 1985 - *Paysans, experts et chercheurs en Afrique noire ; sciences sociales et développement rural*. Karthala, Paris
- CHAMBERS R., PACEY A., THRUPP L.A., 1994 - *Les paysans d'abord ; les innovations des agriculteurs et la recherche agronomique* - CTA et Karthala
- DARRE J.P., 1985 - *La parole et la technique. L'univers de pensée des éleveurs du Ternois*. L'Harmattan, Paris
- TREILLON R, 1992 - *L'innovation technique dans les pays du Sud. Le cas de l'agroalimentaire* - ACCT-CTA-Karthala, Paris



4

AGRICULTURE GÉNÉRALE

- 4.1 La mise en valeur des zones tropicales et les composantes du milieu**
- 4.2 Les démarches d'amélioration d'un système de culture**
- 4.3 Modifier les itinéraires techniques**



4 1

La mise en valeur des zones tropicales et les composantes du milieu

- 4.1.1 Les modes de mise en valeur
et leurs évolutions**
- 4.1.2 Le climat et la production végétale**
- 4.1.3 Le sol et la production végétale**
- 4.1.4 Le fonctionnement d'un peuplement
végétal cultivé**

Les modes de mise en valeur et leurs évolutions

À partir d'une contribution de M. Dufumier (INA-PG)

Les zones intertropicales présentent une grande variété d'écosystèmes (forêts, savanes, steppes, prairies d'altitude, marais, mangroves, etc.) dont les modes d'exploitation et de mise en valeur dépendent essentiellement de la nature des moyens de production disponibles, de leurs quantités relatives et des conditions économiques et sociales dans lesquelles opèrent les exploitants agricoles. Il en résulte une grande diversité de systèmes de culture et d'élevage dont les modes de combinaison sont encore plus nombreux. Il n'en reste pas moins possible de distinguer quelques grands types de *systèmes agraires* avec des trajectoires d'évolution caractéristiques.

L'AGRICULTURE D'ABATTIS-BRÛLIS

● *Les caractères généraux*

La mise en culture des zones forestières intertropicales humides suppose tout d'abord que soit ouverte une éclaircie dans la forêt dense pour que les plantes cultivées puissent accéder à l'énergie solaire. Cet abattis du couvert forestier, souvent partiel, intervient en début de saison sèche, de façon à ce que les feuilles et les bois morts laissés à terre perdent une grande partie de leur eau et puissent ensuite brûler aisément. Ce travail est réalisé fréquemment à la hache et au sabre d'abattis, mais au Brésil, dans la forêt amazonienne, les essarteurs abattent de nos jours les arbres à la tronçonneuse. L'essouchage, qui serait au demeurant très laborieux, n'est pas pratiqué, de façon à permettre un recrû rapide de la forêt après une ou quelques années de cultures. Une grande partie de l'espace éclairci peut être encore occupé par des branches et troncs d'arbres imparfaitement calcinés.

Le brûlis est très souvent suivi des opérations de semis ou de bouturage, sans grand travail du sol préalable. Les semences de céréales et de légumineuses, ainsi que les boutures, peuvent être directement enfouies dans des trous creusés à l'aide d'un bâton fousseur ou d'une petite houe. L'implantation de certaines plantes à tubercules requiert un ameublissement du sol plus important, avec généralement la constitution de buttes ou de billons. Plusieurs espèces et variétés peuvent être étroitement associées sur la même parcelle, de façon à ce que les plantes de tailles et de ports différents recouvrent rapidement la totalité du terrain et puissent ainsi intercepter le maximum de rayonnement solaire. Le choix des espèces et des écartements entre plantes tient compte aussi des risques d'invasion par les herbes adventices.

Les terrains les plus facilement enherbés sont mis de préférence en culture avec des plantes sarclées de grande taille¹ entre lesquelles il est relativement facile de réaliser des sarclo-binages à la houe. L'implantation de plantes couvrantes au cours de la première année aide aussi à contrôler la croissance et la multiplication des herbes adventives. Le riz pluvial n'est semé quant à lui, le plus souvent, que sur les espaces où il est possible de prévoir une moindre prolifération de graminées spontanées, car ces dernières pourraient lui faire de l'ombre et son semis à relativement haute densité rend les sarclages assez difficiles.

La parcelle essartée n'est mise en culture que pour un nombre limité d'années car l'incidence des mauvaises herbes et le temps nécessaire aux sarclages deviendraient vite trop importants sur les terrains longtemps exposés à la lumière. Le taux d'humus accumulé dans les sols pourrait aussi décliner rapidement, du fait de sa minéralisation rapide dans les terrains ameublés et réchauffés par les rayons du soleil. La mise en culture n'est donc que temporaire, de façon à permettre le rétablissement progressif du couvert arboré.

La friche forestière

La friche forestière de longue durée, appelée parfois (à tort²) jachère, est un moyen de lutte contre la multiplication des herbes nuisibles aux cultures, en leur imposant de l'ombre pendant une période suffisante pour que de nombreuses graines perdent leur pouvoir germinatif. Elle permet aussi de reconstituer la fertilité des horizons superficiels des sols grâce aux éléments minéraux puisés en profondeur par les racines des arbres, à la fixation de carbone par le biais de la photosynthèse, et à la chute régulière des feuilles et autres matières organiques.

● Les variantes

● L'association à de multiples autres activités

L'agriculture sur abattis-brûlis, à laquelle sont fréquemment associés de petits jardins-vergers et de multiples activités de chasse, pêche, cueillette et petits élevages, présente un grand nombre de variantes. Elles dépendent de la nature et de la densité du couvert forestier originel, des difficultés inhérentes au séchage des ligneux avant brûlis, de la densité démographique et de ses conséquences sur la fréquence des mises en culture et la durée des friches arborées, de la proximité de savanes, de l'incidence des graminées, des moyens de production dont disposent les agriculteurs, de l'existence de marchés pour d'éventuelles cultures de rente, etc. Elle peut donner lieu aussi à des évolutions différentes avec, selon les cas, une extension progressive d'espaces herbeux ou de plantations arboricoles.

¹ Maïs, igname, manioc, bananiers, etc.

² Le terme de jachère vient en effet du gallo-romain *gascaria* et signifie terre labourée. L'agriculture d'abattis-brûlis en rotation avec une friche arborée de longue durée permet précisément la mise en culture sans labour préalable, lequel est d'ailleurs impossible sur les terrains où persistent les souches et les restes de troncs d'arbres.

Défriche et pourrissage

Il existe des systèmes de culture fondés sur la défriche et le pourrissage de la végétation abattue dans certaines régions forestières très humides³ où l'absence d'une réelle saison sèche empêche de pratiquer le brûlis de la végétation mise à terre. Les graines sont alors semées à la volée peu après l'abat-tis pour être ensuite progressivement recouvertes par les matières organiques en décomposition.

● Le recours au brûlis

Le temps consacré à la lutte contre les mauvaises herbes dépend fortement de la durée et de la densité de la friche boisée. Le recours fréquent au brûlis dans les zones déjà fortement enherbées tend à limiter le recrû ligneux et à favoriser encore davantage la multiplication des graminées. Les friches peuvent être alors aisément pâturées par les gros ruminants dans les régions indemnes de trypanosomiase et autres maladies endémiques. Les régions dans lesquelles la répétition des cycles de culture tend à s'accélérer du fait de la pression démographique ou de l'élargissement des surfaces cultivées par actif peuvent d'ailleurs évoluer progressivement vers la formation de savanes⁴ ou de prairies. Seuls quelques arbres et arbustes pyrophytes résistent alors aux feux de brousse.

La création d'espaces pour les bovins

Certaines sociétés s'efforcent d'ailleurs d'accélérer ce processus d'enherbement, en réduisant la durée des friches et en multipliant la fréquence des brûlis, afin de constituer ou d'étendre les surfaces de prairies et terres de parcours destinées aux bovins. C'est le cas dans de nombreuses régions d'altitude où les forêts originelles de moindre densité laissent facilement la place à des formations herbacées : hauts plateaux et montagnes de l'ex-Indochine, sommets et plateaux de l'Afrique centrale et de l'Est, etc. Le semis ou le bouturage de graminées fourragères⁵ en association avec les cultures vivrières sont devenus une pratique délibérée pour ceux des petits producteurs brésiliens qui, dans la forêt amazonienne, espèrent pouvoir revendre rapidement les parcelles essartées à de grands éleveurs. L'agriculture sur abattis-brûlis n'est plus, dans ce cas, qu'une forme transitoire d'agriculture vers l'élevage bovin extensif du type *ranching*.

● Protection du recrû forestier et implantation de nouvelles espèces arborées

Certaines populations d'Asie du Sud-Est et de la forêt amazonienne ont trouvé, quant à elles, intérêt à protéger le recrû forestier et à y privilégier le développement de certaines espèces spontanées : cardamome⁶, mûrier à papier⁷, aliboufiers à benjoin⁸, açai do Para⁹, etc. La friche arborée se trouve ainsi progressivement enrichie en

3 Côte atlantique de l'Amérique centrale, côte pacifique de Colombie.

4 Savanes à *Imperata cylindrica*, *Hypparrhenia diplandra*, etc.

5 *Brachiaria mutica*, *Hypparrhenia rufa*, *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum*, etc.

6 *Elettaria cardamomum* et *Amomum villosum*.

7 *Broussonetia papyrifera*.

8 *Styrax tonkinensis*.

9 *Euterpe oleracea*.

espèces utiles et régulièrement exploitées. L'implantation de nouvelles espèces arborées dans les friches forestières a même parfois prévalu dans certaines régions d'Indonésie. Ainsi peut-on observer aujourd'hui des agroforêts à hévéa¹⁰ ou à damar¹¹ dans l'île de Sumatra : il s'agit de véritables plantations qui restent néanmoins assujetties à des conditions très proches de l'écosystème forestier originel. Ces systèmes peuvent ensuite évoluer progressivement vers de véritables jardins boisés, intensivement travaillés, dans lesquels les diverses espèces végétales sont renouvelées successivement sans que l'on n'ait plus jamais recours à l'abattis-brûlis.

● L'association cultures vivrières et plantations de café, cacao ou hévéa

L'association temporaire de cultures vivrières à de jeunes plantations de caféiers, cacaoyers ou hévéas est une autre forme d'évolution, assez fréquente dans les régions de front pionnier où les nouvelles plantations arboricoles permettent de bien marquer les territoires conquis par chacun sur la forêt. Le passage direct de l'abattis-brûlis aux plantations arboricoles est à l'origine de l'extension récente et rapide de l'hévéaculture dans le Sud-Thaïlande, des plantations de caféiers dans la péninsule indochinoise et les provinces orientales de l'Équateur, des surfaces de cacaoyers dans le golfe de Guinée, le Sulawesi (Indonésie) et certains abords de la transamazonienne (Brésil).

LES SYSTÈMES À FRICHES HERBACÉES, TERRES DE PARCOURS ET VAINES PÂTURE

● Les caractères généraux

Particulièrement adaptée aux régions de forêts denses dans lesquelles un fort ombrage peut être maintenu pendant de nombreuses années, l'agriculture sur abattis-brûlis trouve rapidement ses limites dans les régions de savanes où l'ensoleillement à ras du sol favorise le maintien d'un couvert herbacé permanent. Le brûlis ne permet guère de détruire le tapis herbeux et tend même, au contraire, à le développer encore davantage. L'élevage de ruminants peut alors devenir un moyen privilégié pour valoriser la prolifération des herbes spontanées, du moins dans les régions où les pâturages ne sont pas trop infestés par les glossines ou les tiques. La lutte contre les graminées et les autres herbes adventices devient par contre la préoccupation majeure des cultivateurs. L'existence d'une saison sèche très marquée et les risques de feux de brousse peuvent être un obstacle à l'implantation de cultures pérennes. Les régions de savanes sont donc fréquemment cultivées en céréales, tubercules et légumineuses annuelles.

La défriche commence ici aussi par l'abattis et le brûlis en saison sèche, de tout ou partie des arbres et arbustes situés sur les terrains destinés à être mis temporairement en culture. Mais cette éclaircie doit être désormais impérativement complétée, dès l'arrivée des premières pluies, par un travail du sol relativement lourd, avec pour objectif l'enfouissement des mauvaises herbes, dont l'apparition peut être précoce et le développement rapide. Les agriculteurs qui ne disposent que d'outils manuels aménagent fréquemment des buttes de taille variable au sein desquelles ils enterrent les matières

¹⁰ Jungle rubber.

¹¹ *Shorea javanica*.

organiques pour que celles-ci puissent ensuite pourrir progressivement. Les exploitants qui peuvent aujourd'hui avoir accès à des charrues et à la traction animale pratiquent souvent un labour en billons, plus rapide que le buttage manuel, mais à l'issue duquel l'enfouissement des jeunes adventices est souvent moins soigné.

En tout état de cause, les cultivateurs sont presque toujours contraints de procéder ultérieurement à deux ou trois désherbages manuels, ou parfois chimiques. Ils choisissent donc souvent de cultiver des plantes à croissance rapide, ou du moins de grande taille, susceptibles d'être aisément sarclées et entre lesquelles sont parfois semées des plantes couvrantes à cycle plus ou moins court : haricot, niébé, arachide, patate douce, melon, pastèque, etc.

● **Là où les terres cultivables sont relativement abondantes**

Dans les régions où les superficies cultivables sont relativement abondantes par rapport à la main-d'œuvre disponible et où les terres n'ont pas été attribuées définitivement aux familles d'agriculteurs, les paysans choisissent de cultiver prioritairement les zones les plus fertiles et les moins difficiles à travailler. Les cultures les plus délicates sont implantées le plus souvent en début de succession culturale, de façon à pouvoir bénéficier de la fertilité accumulée au cours des périodes de recrû herbacé et ligneux. Les plantes les moins exigeantes sont cultivées ensuite, une ou deux années après, avant que les terrains ne soient de nouveau livrés à la friche pour des périodes de dix à vingt ans.

Les champs cultivés sont généralement dispersés au sein des finages villageois mais, du fait des contraintes de déplacement et de transport, les plus éloignés d'entre eux sont moins intensément cultivés, avec des friches de plus longue durée. Les champs proches des villages peuvent être relativement délaissés du fait des risques de dégâts occasionnés par les petits animaux domestiques en divagation. Pendant la saison des pluies, les troupeaux de gros ruminants sont conduits sur les surfaces laissées en friche ou sur des terres peu fertiles et strictement réservées aux parcours. Le gardiennage des animaux est confié à des enfants ou à des bergers spécialisés et rémunérés pour ce travail. En saison sèche, il est fréquent de laisser paître librement les animaux sur la totalité des espaces, de façon à ce qu'ils puissent notamment bénéficier des chaumes laissés à terre sur les champs récemment cultivés.

● **Dans les régions peu arrosées d'Afrique**

Dans les régions les moins arrosées de l'Afrique sahélo-soudanienne, les animaux transhumants sont conduits dans les zones de steppes les plus septentrionales pendant la saison de pluies. Les troupeaux sont alors dispersés au maximum sur les étendues de pâturage à *Cenchrus biflorus* et *Aristida mutabilis*, aux alentours de nombreuses mares temporaires fortement chargées en sels minéraux. Au fur et à mesure que s'approche la saison sèche, les animaux redescendent progressivement vers le sud et sont peu à peu regroupés autour des mares et des autres points d'eau importants. En pleine saison sèche, certains troupeaux se retrouvent concentrés aux abords des grands fleuves, pour y mettre à profit les pâturages de décrue à *Echinochloa stagnina*. D'autres troupeaux sont amenés à proximité des villages de cultivateurs pour y pratiquer la vaine pâture des chaumes de céréales après récolte. C'est à cette occasion que sont noués les contrats de fumure entre agriculteurs et éleveurs : le parcage nocturne des animaux

sur les parcelles de certains agriculteurs, en échange de mil ou de sorgho, contribue à fertiliser celles-ci avec les déjections animales.

● **Les évolutions récentes**

Dans les régions de l'Afrique soudano-sahélienne où les terres les plus fertiles, fortement convoitées, ont déjà fait l'objet d'une répartition définitive entre familles de cultivateurs, la durée des friches est souvent réduite, de nos jours, à un petit nombre d'années, avec pour effet de réduire sensiblement la production de biomasse arbustive et arborée. Une proportion importante des terres cultivables est mise désormais chaque année en culture. Une extension des surfaces en culture a également été réalisée aux dépens des aires sylvo-pastorales. Les agriculteurs ont mis en culture des champs toujours plus éloignés des villages, dans les espaces de brousse autrefois strictement réservés à l'élevage : steppes des plateaux latéritiques, bas-fonds hydromorphes, plaines d'épandage de crues, etc. En saison des pluies, les ruminants n'ont plus guère aujourd'hui à leur disposition que des terres de parcours et des surfaces de friche relativement limitées.

Seule une fraction du bétail peut faire des aller et retour journaliers entre les terres de parcours et les enclos destinés au parcage nocturne à proximité des maisons. Les cultivateurs confient donc une grande partie de leurs troupeaux à des éleveurs transhumants pour que ces derniers les amènent sur des terres de parcours parfois très éloignées des villages. Ces mêmes animaux reviennent ensuite sur les finages villageois, en saison sèche, à l'époque de la vaine pâture. Certains agriculteurs parviennent alors à s'entendre avec les éleveurs pour que ceux-ci parquent les animaux sur leurs parcelles durant la nuit. Les paysans s'efforcent en effet généralement de fertiliser abondamment leurs parcelles, ou du moins les champs les plus proches des villages et les plus intensément cultivés, grâce aux déjections apportées par ce parcage de nuit.

Segmentation des lignages et colonisation des terres

Nombreux sont aussi les lignages qui se sont segmentés de façon à coloniser des « terres neuves » autrefois parcourues par les éleveurs et leurs troupeaux. Les régions sahéliennes ont ainsi fait l'objet d'une extension progressive des surfaces cultivées jusqu'à l'isohyète annuel de 350 mm. De même peut-on observer aujourd'hui un élargissement des superficies mises en culture dans les zones de fond de vallée des régions soudano-guinéennes où a pu être éradiquée l'onchocercose.

● **Le surpâturage**

La diminution des surfaces pâturables est intervenue au moment où les effectifs des troupeaux ont augmenté sensiblement du fait des campagnes de vaccination et de la diminution corollaire de la mortalité animale. Il en est résulté fréquemment des phénomènes de surpâturage avec une raréfaction progressive de multiples espèces fourragères, herbacées, arbustives et arborées. Trop nombreux sur des surfaces sans cesse réduites, les animaux domestiques consomment les dernières ressources fourragères avant que celles-ci n'entrent dans leur phase de reproduction. L'appauvrissement de la strate herbacée incite les éleveurs à faire pâturer les ligneux, quitte à devoir

émonder prématurément les arbres pour fournir aux animaux le seul fourrage vert accessible pendant la saison sèche.

La disparition de nombreux arbres fourragers dans les espaces cultivés soumis à la vaine pâture contribue à réduire la protection des sols contre la violence des pluies et des vents. Elle réduit aussi fortement les apports de matières organiques dans les terres de culture. La stabilité structurale des sols et leur capacité de rétention de l'eau et des cations échangeables s'en trouvent diminuées d'autant. Faute d'une gestion équilibrée des terroirs agricoles et des espaces pastoraux, certaines régions soudano-sahéliennes semblent donc vouées aujourd'hui à une érosion accélérée des sols et à un abaissement progressif des rendements. Mais d'autres formes d'agriculture, plus intensives et plus respectueuses de l'environnement, peuvent aussi être pratiquées dans les régions sahélo-soudaniennes.

● Les conflits entre éleveurs et agriculteurs

La course pour l'exploitation des meilleures terres dans les espaces les plus saturés et disputés se traduit souvent par de violents et nombreux conflits entre éleveurs transhumants et agriculteurs sédentaires. Ces conflits prennent d'autant plus d'acuité que les règles relatives à l'accès aux ressources naturelles sont incertaines et non reconues. Les relations contractuelles qui existaient communément entre les deux parties¹² tombent peu à peu en désuétude.

Les grandes sécheresses de ces dernières décennies ont très fortement pénalisé les éleveurs transhumants. Sur un espace pastoral considérablement rétréci et dégradé, les éleveurs n'ont pas toujours pu faire face au manque soudain de ressources fourragères et ont subi une diminution drastique du nombre de leurs animaux : mortalité accrue, vente d'urgence à vil prix, etc. Un véritable transfert de propriété animale s'est opéré au profit d'agriculteurs, de commerçants et de citoyens disposant de numéraire. Les éleveurs transhumants tendent aujourd'hui à délester leurs troupeaux des animaux excédentaires en vendant les mâles à des âges de moins en moins avancés : leur élevage est devenu parfois exclusivement naisseur.

Nombreux sont les pasteurs qui doivent désormais déplacer leurs troupeaux dans des aires de savane toujours plus méridionales, moins affectées par les sécheresses et plus proches des grands marchés de la viande (villes côtières). D'autres ne sont pas parvenus à conserver un bétail important et ont été contraints à la sédentarisation progressive : ils s'adonnent donc désormais aussi à l'agriculture, non sans succès, sur les terres les plus ingrates et les plus fragiles.

LES ASSOCIATIONS CÉRÉALICULTURE ET ÉLEVAGE SOUS PARC ARBORÉ

Certaines sociétés soudano-sahéliennes sont parvenues à mettre tous les ans une grande part de leurs terrains en culture, sans autre interruption que celle imposée par la saison sèche, grâce au maintien et à l'entretien d'arbres (karité¹³, néré¹⁴ acacias

¹² Bétail des agriculteurs confié en gardiennage aux éleveurs, contrats de fumure avec parcage nocturne sur les terres à cultiver, etc.

¹³ *Butyrospermum parkii*.

¹⁴ *Parkia biglobosa*.

divers, etc.) au sein même des espaces cultivés. Ce parc arboré associé aux cultures annuelles permet en effet de fertiliser les couches superficielles du sol et de maintenir leur taux d'humus du fait de la chute des feuilles.

Les parcs à *Acacia albida*

Il convient de mentionner tout particulièrement les parcs à *Acacia albida*, légumineuse arborée à enracinement profond dont la feuillaison intervient à contretemps : ses feuilles se développent en saison sèche et fournissent de l'ombre et un fourrage riche en protéines pour les animaux en vaine pâture ; elles tombent en début de saison des pluies et n'occasionnent ainsi pratiquement aucun ombrage aux plantes cultivées qui peuvent donc être implantées sous la frondaison des arbres. La chute des feuilles constitue un apport de matière organique riche en azote, ce qui permet de cultiver tous les ans du mil, du sorgho ou de l'arachide. Un tel parc arboré permet donc une association étroite de l'agriculture et de l'élevage, directement liée à la pratique de la vaine pâture dans la mesure où l'ensemencement des acacias est assuré par les animaux eux-mêmes. La dormance des graines est en effet levée lors de leur passage dans le tube digestif des ruminants. Le maintien du parc arboré suppose néanmoins que les jeunes acacias ne soient pas prématurément surpâturés lors du passage des animaux en saison sèche et que l'émondage des plus grands arbres n'intervienne pas avant que les gousses arrivent à maturité.

● **De nouvelles formes d'association agriculture/élevage**

Au cours des dernières décennies, de nouvelles formes d'association agriculture-élevage ont été progressivement mises en œuvre dans certaines régions soudano-sahéliennes. Le recours à des outils attelés et l'utilisation de bovins pour la traction animale ont souvent été à l'origine de cette transformation. C'est l'extension des cultures commerciales qui a souvent permis aux agriculteurs d'acquérir ces nouveaux moyens de production et de transport. Mais le dressage et l'emploi régulier des bœufs de trait supposent que ces derniers ne soient plus contraints à la transhumance et puissent être maintenus en stabulation à proximité des exploitations, y compris en saison sèche. Il est donc devenu nécessaire de constituer des réserves fourragères et de mieux valoriser les résidus de culture¹⁵ pour pouvoir les nourrir pendant cette période. La quasi-totalité des chaumes est ainsi ramassée, rendant souvent caduque la pratique de la vaine pâture. La production d'un véritable fumier s'est peu à peu substituée à celle de l'ancienne poudrette. Les charrettes permettent de transporter les diverses matières organiques : fourrages, fumier, etc.

Des élevages d'embouche bovine et des élevages laitiers

Les agriculteurs connaissent l'importance des gains réalisables à la revente des bœufs de trait, grâce à leur prise de poids en saison sèche. Certains ont commencé à développer un élevage d'embouche bovine dans les principales régions périurbaines. De même a-t-on pu observer le développement d'élevages laitiers. L'intégration des animaux de trait à l'exploitation agricole a induit en effet une maîtrise de la conduite des bovins en stabulation qui a facilité l'adoption des techniques d'embouche et de production laitière.

¹⁵ Fanes de légumineuses, paille et son de céréales, etc.

La production laitière a été favorisée par le fait que, dans certaines régions, une proportion importante des bovins de trait dressés sont des femelles et non des bœufs. Aux aliments grossiers cités antérieurement sont alors venus s'ajouter divers sous-produits et aliments concentrés du commerce : tourteaux d'arachide ou de coton, son de blé, mélasse, pierres à lécher, etc. Le recours au hache-paille et le mélange d'urée et de chaumes finement coupés tendent à devenir une pratique courante dans ces exploitations.

LES SYSTÈMES INTENSIFS ASSOCIANT POLYCLTURE ET ÉLEVAGE

● *Une grande diversité*

● **Dans la zone intertropicale humide, une production quasi continue**

Les conditions climatiques de la zone intertropicale humide permettent souvent aux paysanneries de maintenir une activité et des productions agricoles quasi continues tout au long de l'année, notamment dans les régions d'altitude où les températures modérées limitent l'évapotranspiration potentielle. L'importance de la pluviométrie et l'absence de saison sèche très marquée autorisent une couverture quasi permanente des sols avec la possibilité d'associer, sur les mêmes parcelles, plusieurs espèces cultivées dont les parties aériennes s'épanouissent à des hauteurs différentes, depuis la strate herbacée jusqu'aux strates arbustives et arborées.

Les systèmes de production pratiqués dans ces régions intègrent donc fréquemment une grande gamme de cultures avec de nombreux petits élevages associés. De tels systèmes ont permis l'établissement de populations dont la densité dépasse souvent les 200 habitants au kilomètre carré : Rwanda, Burundi, plateau Bamiléké (Cameroun), Kenya, Haïti, cordillère centrale de Colombie, Salvador, etc.

Les jardins et vergers proches de l'habitat

Ils associent pour la plupart une très grande variété de cultures vivrières destinées à l'autoconsommation¹⁶, quelques cultures de rente¹⁷, des plantes à fibres, des herbes médicinales, des plantes tinctoriales, etc. Les petits élevages¹⁸ y exploitent quelques ressources fourragères marginales¹⁹, les surplus fruitiers saisonniers, les résidus de cuisine et des sous-produits de récolte en provenance d'autres parcelles, etc. Ces jardins et vergers peuvent aussi héberger les plus gros animaux durant la nuit, de telle sorte que les déjections nocturnes contribuent à leur fertilisation organique.

16 Divers tubercules et racines, bananiers plantains, arbres à pain, avocatiers, palmiers, etc.

17 Caféiers, agrumes, épices, etc.

18 Volailles, porcins, lapins, cochons d'Inde, aulacodes, etc.

19 Mauvaises herbes, feuilles de bananier, fruits de palmier, etc.

● **Des cultures associées exigeantes en travail**

Elles sont aussi très souvent le siège de cultures associées : céréales diverses, légumineuses alimentaires, plantes cultivées pour leurs racines ou tubercules²⁰, cucurbitacées rampantes, etc. Ces plantes exigent presque toujours des conditions agroécologiques différentes pour leur fonctionnement physiologique : évapotranspiration, photosynthèse, respiration, absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines, etc. Cultivées simultanément ou en séquence dans les mêmes champs, elles présentent généralement des ports et des systèmes racinaires complémentaires. Elles sont fréquemment disposées de façon à ce que la végétation recouvre les terrains au maximum et pendant la plus longue durée possible. Ces associations de culture peuvent ainsi protéger les sols de l'agression des pluies torrentielles et sont à même d'intercepter la plus grande partie des rayons solaires pour la photosynthèse.

Mais pour que les diverses espèces cultivées puissent cohabiter sur les mêmes parcelles, les agriculteurs sont contraints de travailler intensément leurs terrains, de façon à pouvoir y installer momentanément une multitude de micro-écosystèmes à très courtes distances les uns des autres : buttes de terres fortement ameublées et dans lesquelles les matières organiques sont enfouies à des endroits précis, petites dépressions où peuvent se concentrer épisodiquement les eaux de pluies, zones de sol non labourées, etc. Ces travaux exigeants en force de travail sont réalisés généralement avec des outils manuels, mais le recours à la traction animale et à divers outils attelés permet de faire alterner différents types de billons et de sillons.

● **Des plantations spécialisées et des prairies temporaires**

Certains paysans peuvent aussi parfois maintenir un ou plusieurs lopins plus particulièrement consacrés à des cultures de rente. Ces parcelles prennent la forme de petites plantations relativement spécialisées²¹. Mais rares sont cependant les plantations véritablement monospécifiques. Il n'est pas rare, en effet, d'y observer des taros sous la bananeraie, des ananas à l'ombre des manguiers, des bananiers ou des agrumes en association avec les caféiers, etc. Les exploitants les plus aisés disposent parfois de prairies temporaires sur lesquelles leurs animaux sont élevés, généralement au piquet. Ces prairies de dimension modeste sont fréquemment conduites en rotation avec des cycles de cultures vivrières. Il arrive enfin que de toute petites surfaces soient dédiées à des cultures fourragères pour la coupe et l'affouragement des animaux en vert : herbe Elephant²², herbe de Guinée²³, herbe du Guatemala²⁴.

● **Complémentarité des étages écologiques dans les régions montagneuses**

Dans les régions montagneuses et accidentées de grande altitude, les systèmes de polyculture-élevage sont fréquemment fondés sur les complémentarités de mise en valeur des divers étages écologiques. Une même exploitation peut intégrer des parcelles situées dans des écosystèmes très différents selon l'altitude, la pente, l'exposition des versants et la proximité d'une source, et pas nécessairement très éloignées les unes des

20 Taros, ignames, patates douces.

21 Bananiers, caféiers, théiers, manguiers, papayers, etc.

22 *Pennisetum purpureum*.

23 *Panicum maximum*.

24 *Tripsacum laxum*.

autres. Les exploitants ont alors intérêt à mettre à profit ces différences pour cultiver une grande gamme d'espèces et variétés²⁵ avec des calendriers culturels complémentaires. Les parcelles les moins pentues et celles qui peuvent être irriguées sont cultivées intensément avec généralement des apports abondants de fumure organique. Les surfaces aisément cultivables sont souvent exiguës et les agriculteurs ont parfois été amenés à aménager des terrasses pour pouvoir cultiver un lopin dans chaque étage. Les zones les plus ingrates, souvent indivises et libres d'accès, sont maintenues en prairies permanentes pour le parcours des animaux.

Le parcage nocturne

La pratique du parcage nocturne à proximité des parcelles cultivées est à l'origine d'un important transfert de fertilité depuis les pâturages indivis vers les surfaces en culture ; mais ceux qui possèdent un grand nombre d'animaux bénéficient d'une fumure organique plus importante que ceux qui en ont peu et les rendements des cultures varient en conséquence.

Dans les régions les plus difficiles d'accès, les systèmes de cultures sont destinés surtout à l'autoconsommation familiale et les principales marchandises livrées sur les marchés sont les animaux que l'on peut facilement acheminer à pied et quelques productions à forte valeur ajoutée par unité de poids et de volume : fromages, herbes médicinales, opium, etc.

● **Les oasis**

En région d'oasis, où se retrouve généralement concentrée une forte densité de population, les systèmes de polyculture-élevage sont particulièrement intensifs en travail et visent essentiellement à valoriser au mieux les ressources en eau limitées. Sauf exception, les oasis sahariennes associent sur le même espace cultivé des palmiers dattiers, des arbres fruitiers, des céréales, des cultures fourragères et quelques cultures de rente à haute valeur commerciale : henné, safran, carthame, etc.

Des animaux élevés en stabulation

Les animaux sont presque tous élevés en stabulation. Ils recyclent les résidus de culture et se voient aussi offrir les fourrages cultivés : une douzaine de coupes de luzerne par an. Ils fournissent de la viande, du lait, de la laine, de la force de traction, ou sont utilisés pour les transports lointains.

● **Des risques limités**

Du fait qu'ils intègrent une multitude d'activités, les systèmes de polyculture-élevage ne se prêtent guère à l'obtention d'économies d'échelle. Les exploitants hésitent donc à réaliser de grosses immobilisations de capital fixe, susceptibles de ne pouvoir être rapidement rentabilisées que pour des productions spécifiques menées sur de vastes surfaces. L'achat de gros équipements destinés à une seule activité supposerait de spécialiser progressivement les systèmes de production, en donnant une place

25 Pommes de terre, quinoa, lupin, blé, orge maïs, luzerne, etc.

prépondérante à cette activité, de façon à amortir au mieux les nouveaux investissements. Mais les systèmes de polyculture présentent souvent l'avantage de répartir les risques de mauvaise récolte sur les multiples activités et contribuent donc à réduire la probabilité de résultats globaux catastrophiques.

Ce sont par ailleurs des systèmes qui ont été conçus de façon à gérer au mieux la force de travail familiale et les autres ressources disponibles, dans le temps et dans l'espace, en fonction des fluctuations saisonnières du climat et des nuances locales de l'écosystème. Ils permettent aussi de recycler soigneusement les divers résidus de culture et les déjections animales. Ils évitent ainsi les gaspillages trop souvent observés dans les systèmes exagérément spécialisés.

Tant que n'apparaissent pas de nouveaux et très forts avantages comparatifs en faveur d'une spéculation particulière, les exploitants qui disposent de surfaces relativement faibles et ne peuvent espérer les accroître continueront d'avoir intérêt à intensifier leurs systèmes de culture et d'élevage dans le cadre de systèmes de production diversifiés. Nombreux sont ceux qui s'efforcent alors de transformer eux-mêmes leurs produits au sein de l'exploitation afin d'en tirer le maximum de valeur ajoutée : séchage et décorticage du café, fabrication de farine ou pâte de manioc, fermentations destinées à produire de la bière de banane ou du vin de palme, etc. Mais les systèmes de polyculture-élevage ont la particularité, nous l'avons vu, de fournir une grande gamme de produits agricoles en relativement faibles quantités. Les transformations à la ferme revêtent alors forcément un caractère artisanal.

LA RIZICULTURE INONDÉE DE BAS-FOND ET D'ÉPANDAGE DE CRUES

● ***Les rizicultures asiatiques***

La riziculture inondée permet de mettre en valeur les bas-fonds dans lesquels les eaux de ruissellement s'accumulent en grande quantité et les vallées soumises périodiquement aux crues des rivières. Cette forme de riziculture fut d'abord mise au point en Asie des moussons où le riz pluvial, cultivé sur abattis-brûlis dans les régions exondées, souffrait particulièrement de la concurrence des graminées adventices. Elle repose le plus souvent sur l'aménagement de rizières planes et entourées de diguettes, dans lesquelles les agriculteurs s'efforcent de maintenir une nappe d'eau durant tout le cycle de culture. Le principe est de parvenir à piéger les eaux sur le maximum de surfaces aménagées en rizières et d'éviter ainsi leur trop forte concentration dans les parties les plus basses.

La nappe d'eau contribue à limiter la prolifération des adventices dans la mesure où la submersion parvient rapidement à entraver leur croissance et leur développement. Les techniques du repiquage ou du semis direct de grains pré-germés sont utilisées de façon à ce que la croissance rapide des plants de riz leur permette d'émerger de la lame d'eau. Les rizières constituent également des bassins de sédimentation dans lesquels la reproduction de la fertilité est assurée par les mouvements d'éléments nutritifs liés aux mouvements d'eau et à la fixation biologique d'azote. De tels aménagements ont ainsi permis à de nombreuses sociétés asiatiques de pratiquer tous les ans la riziculture sur les mêmes parcelles sans avoir besoin de les laisser périodiquement en friche.

Le passage de la riziculture pluviale sur abattis-brûlis à la riziculture inondée de bas-fonds a donc permis de fixer des populations en densité croissante. Les agriculteurs peuvent d'ailleurs avoir intérêt à pratiquer la riziculture de bas-fonds sans attendre que les systèmes de riziculture pluviale sur abattis-brûlis entrent en crise du fait de la pression démographique et d'une productivité du travail décroissante. La riziculture inondée évite en effet de devoir procéder tous les ans à l'abattage de nouveaux pans de forêts, tâche particulièrement pénible et exigeante en travail. Encore faut-il cependant avoir accès aux ressources nécessaires : terrains aménageables en rizières, outils de travail du sol, éventuellement traction animale.

La coexistence des rizicultures pluviales et inondées

L'aménagement initial des rizières constitue un investissement très lourd en travail avec une mise en boue et un planage des parcelles qui ne peuvent être que progressifs. Les deux formes de riziculture continuent d'ailleurs de coexister dans plusieurs régions du monde : vallée du Mékong, côte est de Madagascar, etc. Récolté plus précocement, le riz pluvial cultivé sur les sols exondés permet bien souvent de fournir du riz commercialisable ou destiné à l'autoconsommation pendant les périodes de soudure où les prix peuvent être très élevés.

La pratique de la riziculture inondée dans le lit majeur des grands fleuves semble avoir commencé dans les régions où il fut possible de domestiquer des variétés de riz de très grande taille, et notamment des riz flottants dont la caractéristique principale est de pouvoir s'allonger rapidement au fur et à mesure de la submersion et de parvenir ainsi à émerger, même lorsque les niveaux d'eau deviennent très élevés.

● **L'extension de la riziculture inondée**

L'extension de la riziculture inondée dans les plaines alluviales ne fut souvent possible que dans les régions où furent réalisés des aménagements destinés à contrôler la vitesse et l'ampleur des crues et des décrues : endiguement des lits, aménagement de grands casiers rizicoles totalement protégés, creusement de canaux pour l'acheminement ou le retrait des eaux de submersion, barrages écrêteurs de crues, etc. Organisés à une échelle relativement vaste, ces travaux d'intérêt collectif conçus pour la protection, le drainage ou l'irrigation, sont allés souvent de pair avec l'émergence ou le renforcement d'Etats fortement centralisés : Chine, Vietnam, Egypte...

L'extension de la riziculture inondée sur les flancs de collines et les piémonts exige un investissement en travail souvent considérable pour l'aménagement de terrasses et la dérivation des eaux de ruissellement. Elle n'a généralement été possible que dans les régions déjà relativement peuplées où de grandes quantités de main-d'œuvre pouvaient être mobilisées : Java, Bali, hautes terres malgaches...

● **Les rizicultures africaines**

En Afrique noire, la riziculture inondée n'est pas une pratique totalement nouvelle. C'est là que fut d'ailleurs domestiquée l'espèce de riz *Oriza glaberrima*. Des variétés de riz flottant ont été très tôt cultivées dans le delta intérieur du fleuve Niger et dans certains fonds de cuvettes à écoulement endoréique de l'Afrique sahélo-soudanienne.

Au sud du Sénégal, la société Diola a, depuis longtemps, aménagé de véritables rizières dans les anciens marécages et les mangroves de l'estuaire de la Casamance. Plus récemment, les Etats de nombreux pays devenus indépendants (Guinée, Côte d'Ivoire, Rwanda, Burundi...) ont encouragé et financé l'aménagement de petits vallons à des fins rizicoles.

● Des freins à la riziculture inondée

Mais l'établissement de rizières permanentes dans les bas-fonds bordés de forêts galeries où sévit encore la trypanosomiase s'est heurté bien souvent à la faible disponibilité en main-d'œuvre, à la précarité des tenures foncières et au manque d'animaux de trait pour les travaux d'aménagement et de préparation du sol.

Les fonds de talweg et de petites vallées se sont aussi révélés de qualité pédologique fort variable, avec notamment de sérieux problèmes d'acidité et de toxicité ferreuse ou aluminique dans les bas-fonds les plus marécageux. Les paysans préfèrent parfois valoriser ces bas-fonds en y établissant des planches surélevées sur lesquelles ils cultivent des cultures maraîchères à haute valeur ajoutée.

L'extension de la riziculture inondée dans des zones semi-arides n'a été rendue possible que suite à de grands aménagements hydrauliques destinés à la domestication des crues et à l'irrigation des terres dans les lits majeurs de grands fleuves (Nil, Niger, Sénégal, etc.), dont les sources sont situées en régions intertropicales humides.

● Des évolutions possibles

La constitution de planches surélevées pour la reconversion de la riziculture inondée au profit de l'extension progressive des cultures fruitières et légumières, associée au creusement de bassins piscicoles, prend aujourd'hui une importance croissante dans les deltas densément peuplés et largement ouverts aux échanges marchands de l'Asie du Sud-Est. Les zones alluvionnaires consacrées au riz sont généralement très fertiles et peuvent donc présenter aussi des avantages comparatifs pour un grand nombre d'autres cultures si on y réalise des aménagements destinés à contrôler la crue et maîtriser l'hydromorphie des sols. Les régions rizicoles peuvent donc voir évoluer leur agriculture vers des systèmes de production diversifiés si les agriculteurs ont les moyens de réaliser les investissements nécessaires à cette reconversion.

La riziculture inondée n'est d'ailleurs jamais vraiment exclusive. Les exploitations agricoles intègrent généralement d'autres systèmes de culture ou d'élevage : petits jardins et vergers intensifs à proximité des habitations, élevage de buffles ou de bœufs pour la traction animale, élevage de ruminants sur les terrains exondés périphériques, petit élevage de volailles et de cochons destinés à valoriser le son de riz, pisciculture à petite échelle, etc.

L'élevage de canards

L'élevage de canards conduits en bandes, aussitôt après la récolte, sur les chaumes de riz, est une pratique assez fréquente dans les grandes plaines alluviales de Chine et du Vietnam. Cette technique d'élevage permet aux canards de glaner les graines éventuellement tombées à terre et d'éliminer un grand nombre d'insectes nuisibles à la culture de riz.

Naguère essentiels dans les travaux des rizières, les buffles et bovins de trait sont de plus en plus souvent remplacés par des motoculteurs dans la plupart des pays d'Asie du Sud-Est. L'achat de ces équipements est d'ailleurs souvent financé par la vente de grands ruminants; si l'achat se révèle rentable, le capital en bétail peut ensuite être reconstitué.

LES PLANTATIONS PÉRENNES

Les plantations pérennes ont été le plus souvent établies au sein d'anciennes régions forestières²⁶ dans lesquelles il n'existe pas de saison sèche trop longue ou trop accentuée. Il s'agit alors fréquemment de plantations arboricoles²⁷, dont l'installation est intervenue peu après le défrichement d'une forêt primaire ou secondaire et qui parviennent encore aujourd'hui à assurer une couverture quasi permanente et presque totale du sol.

Mais il existe aussi des plantations de bananiers ou de canne à sucre au sein desquelles il convient de procéder à des renouvellements et des travaux du sol plus fréquents, avec le risque d'exposer davantage les terrains au soleil et à l'agression des pluies.

● *Les plantations industrielles*

Les plantations les plus spécialisées sont très souvent le fait de grandes sociétés agro-industrielles, privées ou publiques, dont l'origine remonte parfois à l'époque coloniale. Ces entreprises s'efforcent généralement de réduire les coûts et contraintes de transport de produits souvent lourds et périssables en concentrant les surfaces plantées aux alentours immédiats des usines de transformation²⁸ ou de conditionnement.

Cette spécialisation des plantations pérennes prend généralement en compte les avantages comparatifs de toutes natures dont peuvent disposer chacune des régions en concurrence sur le même marché mondial. Elle aboutit fréquemment à la constitution de véritables bassins de production vers lesquels convergent des flux migratoires de travailleurs saisonniers lorsque interviennent des pointes de travail, notamment à la récolte. Ce sont d'ailleurs ces contraintes de main-d'œuvre qui limitent très souvent les possibilités d'économie d'échelle au sein des plantations spécialisées dans lesquelles la récolte reste encore manuelle avec des besoins en force de travail proportionnels aux rendements. La rentabilité des fermes d'Etat et des grandes exploitations capitalistes à salariés est directement conditionnée par la disponibilité, la gestion et le coût de la main-d'œuvre saisonnière.

● *Grandes plantations et risques de pollution*

Les grandes plantations monospécifiques et monovariétales ne sont pas sans présenter de risques importants en cas d'apparition de nouveaux parasites et agents pathogènes. La solution consiste alors très souvent à protéger ces plantations contre les attaques ou menaces éventuelles par le biais d'épandages répétés de fongicides ou

26 Il peut exister aussi des plantations pérennes spécialisées dans les régions moins humides : ainsi en est-il par exemple des plantations de sisal dans les régions semi-arides ; mais force est de reconnaître que de telles plantations y sont moins nombreuses que dans les régions forestières.

27 Cafés, cacaoiers, théiers, cocotiers, hévéas, palmiers à huile, kapokiers, arbres fruitiers, etc.

28 Huileries, centrales sucrières, unités de dépulpage de café, etc.

d'insecticides. Une telle pratique peut très vite causer de sérieux dommages écologiques, du fait de la prolifération de formes résistantes et de la destruction des prédateurs naturels de certains parasites. D'une façon générale, ces plantations spécialisées sont de grosses consommatrices d'intrants chimiques : engrais minéraux, herbicides, pesticides, hormones de régulation des cycles physiologiques, etc. La multiplication des épandages peut aboutir à des phénomènes de pollution préjudiciables à la santé des travailleurs et des populations avoisinantes : les bananeraies d'Équateur et d'Amérique centrale illustrent particulièrement ce problème.

● **Les plantations familiales**

Il existe aussi, et de plus en plus, des plantations pérennes paysannes au sein desquelles est mobilisée une force de travail essentiellement familiale. Ainsi en est-il dans un grand nombre de régions où l'extension des plantations est allée de pair avec la progression de fronts pionniers : hévéas du Sud-Thaïlande, cocotiers et abaca²⁹ des Visayas (Philippines), cacaoyers de Côte d'Ivoire, etc. Il en est souvent de même dans les zones où les plantations sont déjà beaucoup plus anciennes, telles que de nombreuses régions caféicoles du Brésil, de Colombie et du Costa Rica.

Soucieux de se prémunir contre les aléas, les chefs d'exploitations ont parfois intérêt à ne pas trop spécialiser leurs unités de production, de façon à pouvoir dégager malgré tout un revenu minimum lorsque interviennent les situations les plus malheureuses. C'est pourquoi il n'est pas rare de voir quelques jardins, vergers et champs de céréales ou tubercules alimentaires à proximité des plantations pérennes.

L'association de cultures vivrières aux cultures pérennes au cours des premières années de plantation est aussi assez fréquente. C'est d'ailleurs par le biais de telles associations que se sont historiquement constituées de très nombreuses plantations arboricoles dans les régions de fronts pionniers. Le besoin de gérer au mieux la force de travail familiale disponible peut aussi parfois inciter les exploitants à diversifier les espèces au sein de leurs plantations afin d'échelonner les périodes de travail au cours des diverses saisons.

L'ÉLEVAGE BOVIN EXTENSIF ET LE RANCHING

La pratique de l'élevage bovin extensif au sein de ranchs de vastes dimensions est principalement concentrée dans les régions d'Amérique latine où prédominent les éleveurs latifundiaires. Mais il en existe aussi dans plusieurs régions d'Afrique centrale, australe et orientale : bas-Congo, Zimbabwe, Kenya, etc. Ces ranchs n'ont pas tous été initialement établis dans des régions de prairies, de savanes ou de steppes herbeuses : *cerrados* brésiliens, *llanos* vénézuéliens, *velds* d'Afrique australe, etc. Un grand nombre d'entre eux ont été constitués, au contraire, grâce à l'enherbement plus ou moins volontaire de régions autrefois forestières.

29 *Musa textilis* : pseudo-bananiers exploités pour les fibres contenues dans leurs stipes et leurs feuilles.

● **Un élevage de plein air, destiné à la production de viande**

L'élevage bovin extensif en ranchs est presque toujours destiné à la production de viande. Il s'agit d'un élevage de plein air, sans recours à des fourrages de coupe ni utilisation d'aliments concentrés. Les troupeaux pâturent successivement différentes parcelles encloses et de grande taille. La conduite de l'élevage et les allotements sont souvent très simplifiés : les animaux des deux sexes et de tous âges se déplacent ensemble sur les mêmes prairies permanentes. Les chevaux et mules jouent souvent, en Amérique latine, un rôle essentiel dans les élevages bovins, puisque ce sont les animaux de travail des *gauchos* et *vaqueiros* pour la surveillance et les déplacements des troupeaux.

Les investissements, rapportés à la surface exploitée, sont relativement faibles. Les animaux et le foncier représentent les principales immobilisations de capital. Les infrastructures se limitent bien souvent aux points d'abreuvement, clôtures, corrals et couloirs de contention, fosses pour les bains acaricides, etc. L'utilisation d'engrais et d'herbicides sélectifs est généralement réduite, ce qui n'exclut pas quelques mesures prophylactiques : vaccination, chimio-prévention, etc. Les pâtures ne sont renouvelées que très épisodiquement et les seules interventions destinées à l'entretien des herbages se limitent fréquemment à la lutte contre l'embroussaillage : élimination des recrûs ligneux à la machette et brûlis de saison sèche.

La spécialisation de certaines *estancias*

Dans les régions où la saison sèche est très marquée, les éleveurs tentent d'adapter les effectifs d'animaux aux disponibilités fourragères et s'efforcent donc de vendre les animaux mâles et adultes avant que les herbages ne soient trop lignifiés. Il n'est pas rare de voir les éleveurs latifundiaires déplacer régulièrement leurs troupeaux entre plusieurs *estancias*, séparées de plusieurs centaines de kilomètres, et dont les pics de production fourragère interviennent en des périodes complémentaires au long de l'année. Certaines de ces *estancias* peuvent être alors spécialisées dans l'élevage naisseur et les autres dans l'engraissement.

● **Peu de grandes exploitations d'élevage bovin intensif**

Les grandes exploitations dédiées à l'élevage bovin intensif, laitier ou d'embouche, sont assez rares et se rencontrent surtout dans les régions humides ou irriguées et de température pas trop élevée, souvent proches des grandes agglomérations : vallées interandines, périphérie de São Paulo, vallée du Rift etc.

Une proportion importante des surfaces est alors dédiée aux prairies temporaires et aux cultures fourragères destinées à la coupe, pour l'ensilage, la fabrication de foin, ou l'affouragement immédiat en vert. Les troupeaux sont divisés en lots relativement homogènes, par sexe et classe d'âge. Chaque lot fait ainsi l'objet d'une conduite particulière, adaptée à ses besoins. L'alimentation des vaches laitières et des bovins à l'engrais est toujours complétée par des apports en sels minéraux et aliments concentrés. L'amélioration génétique résulte le plus souvent de croisements d'absorption avec des reproducteurs soigneusement sélectionnés. L'insémination artificielle n'est employée que lorsque les reproductrices sont en stabulation.

LE RECOURS ACCRU AUX INTRANTS CHIMIQUES

Afin de pouvoir nourrir une population sans cesse croissante, les gouvernements de nombreux pays se sont efforcés de promouvoir l'utilisation de variétés de céréales, légumineuses et tubercules à haut potentiel génétique de rendement, et insensibles aux variations de longueur du jour et de la nuit, qui peuvent être mises en cultures sous différentes latitudes et au cours de plusieurs périodes dans l'année. Ils furent aidés en cela par les travaux et les résultats des grands centres internationaux de recherche agronomique³⁰, lesquels ont bénéficié du soutien financier de plusieurs fondations privées et agences de financement multilatérales. La diffusion des nouvelles variétés a commencé progressivement vers la fin des années soixante.

Les caractéristiques génétiques des plantes cultivées étaient considérées comme le principal facteur limitant la production alimentaire, et le rendement photosynthétique à l'unité de surface est resté longtemps le critère essentiel de sélection. Aussi ont été très vite proposées aux agriculteurs des variétés de céréales à paille courte, feuilles érigées et tallage précoce, capables de bien intercepter l'énergie lumineuse tout en résistant à la verse. L'implantation de telles variétés avec des densités de semis ou de repiquage accrues devait permettre un accroissement rapide des rendements en grains à l'hectare.

● *Une sélection de nouvelles variétés en stations*

De façon à pouvoir comparer leurs différences génétiques, toutes choses égales par ailleurs, les nouvelles variétés ont été sélectionnées en stations expérimentales, dans des conditions écologiques et techniques parfaitement maîtrisées : parcelles planes bénéficiant d'une totale maîtrise de l'eau, sols profonds de grande fertilité naturelle, emploi d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires d'origine industrielle, implantation de chacune des variétés en culture pure, etc. Les variétés sélectionnées dans les centres de recherche ont été capables de fournir de très hauts rendements, chaque fois qu'ont pu être reproduites les conditions qui avaient présidé à leur sélection. Mais elles se révélèrent souvent inadaptées lorsque ces mêmes conditions ne pouvaient être réunies.

Nombreux ont été les exemples de dégâts occasionnés par l'utilisation de variétés sensibles et exigeantes en l'absence de produits chimiques et dans des conditions de faible maîtrise de l'eau : maïs hybrides affectés par des stress hydriques en période de floraison dans les associations de cultures pratiquées en Amérique centrale, plants de riz à paille courte submergés par les inondations sur la côte est de Madagascar, variétés de riz attaquées par les cicadelles brunes dans l'île de Java, etc. Ces incidents ont très vite incité les chercheurs à introduire des gènes de résistance ou de tolérance à ces différents phénomènes dans les variétés préalablement sélectionnées.

³⁰ Il convient de citer tout particulièrement le Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) dont le siège est au Mexique, l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) domicilié aux Philippines, le Centre international d'agronomie tropicale (CIAT) situé en Colombie, l'Institut de recherche sur les cultures des régions tropicales semi-arides (ICRISAT) établi en Inde. Ces centres sont supervisés par le Groupe consultatif pour la recherche internationale (CGIAR).

● **Des résultats très variables**

Contrairement aux espoirs manifestés initialement, l'emploi des nouvelles variétés à haut potentiel de rendement n'a pu être efficace et généralisé qu'une fois intégré dans le cadre de systèmes de culture complexes et coûteux, ayant largement recours à l'achat d'engrais minéraux et de produits phytosanitaires. Cet achat n'était pas sans risques importants pour les agriculteurs travaillant dans des conditions climatiques et socioéconomiques aléatoires. Les dépenses réalisées pour accéder aux nouveaux intrants pouvaient en effet ne pas se révéler rentables en cas d'accident climatique ou de chute brutale des prix des produits agricoles.

Seuls les exploitants opérant dans des conditions de faible précarité purent d'emblée adopter les paquets techniques induits par l'utilisation des nouveaux cultivars. Les variétés de la révolution verte ont donc d'abord été cultivées dans les régions qui bénéficiaient d'avantages comparatifs indéniables, du fait de la qualité des sols et de la maîtrise de l'eau : périmètres irrigués du Nord-Est et du centre mexicain, Pendjab indien et pakistanais, etc. D'autres régions du monde sont restées longtemps à l'écart : Afrique sahélo-soudanienne, Nord-Est brésilien, hautes chaînes andines, plateau du Deccan, etc.

● **Le rôle de l'intervention publique**

● **Le riz, le blé et le maïs**

L'emploi des variétés à haut potentiel de rendement ne pouvait être à la fois bénéfique et généralisé qu'au prix d'interventions publiques destinées à assurer l'accès des producteurs aux intrants chimiques, dans des conditions suffisamment rémunératrices, stables et incitatives. La révolution verte est donc allée de pair avec des politiques, programmes et projets de développement qui ont effectivement assuré aux agriculteurs une relative maîtrise de l'eau, un accès facile au crédit, des rapports de prix favorables, et une grande sécurité sur la tenure foncière : réformes agraires. Ainsi en a-t-il été dans de très nombreuses régions d'Extrême Orient³¹ où il est fréquent d'observer aujourd'hui l'utilisation des variétés de riz à haut potentiel de rendement, non photopériodiques, à raison de plusieurs cycles de culture dans l'année. Les nouveaux cultivars de blé et de maïs sont aussi de nos jours très employés dans plusieurs régions d'Amérique latine et d'Afrique australe ou orientale : Bajío et Nord-Est mexicains, vallées inter-andines, hauts plateaux du Zimbabwe et du Kenya, etc.

● **Le coton**

Un processus relativement similaire a pu être observé avec certaines cultures de rente. L'essor de la culture cotonnière dans plusieurs régions de l'Afrique soudanienne³² a résulté pour l'essentiel des interventions publiques destinées à sécuriser les filières de commercialisation des produits agricoles et d'approvisionnement en intrants. L'emploi de fertilisants chimiques et de pesticides y est aujourd'hui généralisé.

31 Taïwan, Corée, Java, Luçon central, delta du fleuve rouge.

33 Sud-Mali, Burkina Faso, nord de la Côte d'Ivoire, etc.

● **Le rôle des organisations paysannes et des producteurs**

● **Le café**

L'expansion phénoménale des caféiers de type Catura, à entre-nœuds courts, en Colombie et au Costa Rica, est plutôt à mettre au compte des organisations de producteurs elles-mêmes : des coopératives authentiquement paysannes ont su relativement bien stabiliser les prix payés aux agriculteurs et promouvoir les nouvelles techniques permettant de valoriser au mieux le potentiel génétique : réduction ou suppression de l'ombrage, tailles régulières, emploi d'engrais chimiques, d'herbicides et de produits phytosanitaires, etc.

● **Pisciculture, horticulture et arboriculture fruitière**

Le creusement d'étangs piscicoles et l'aménagement d'ados ou de planches surélevées pour l'horticulture ou l'arboriculture fruitière dans les plaines alluvionnaires et les bas-fonds périurbains illustrent aussi parfaitement la capacité des paysanneries à intensifier leurs systèmes de production, quitte à avoir de plus en plus recours à des intrants achetés, lorsque les conditions de crédit et de marché sont favorables.

● **Intensification ou systèmes extensifs ?**

L'intensification agricole avec usage croissant d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires a été principalement le fait de petites et moyennes exploitations familiales marchandes, au sein desquelles les agriculteurs purent avoir accès aux intrants nécessaires et avaient effectivement intérêt à leur emploi. Mais on aurait tort de penser que les exploitants agricoles ont toujours intérêt à maximiser les rendements par unité de surface, quels qu'en soient les risques et les coûts en travail et en numéraire. Il existe en effet de nombreux exemples de situations dans lesquelles les exploitants agricoles ont plutôt intérêt à mettre en œuvre des systèmes de culture et d'élevage relativement extensifs.

Ainsi l'introduction de la traction animale et de la charrue attelée dans les régions sahélo-soudaniennes a-t-elle souvent d'abord servi à étendre les surfaces cultivées par actif, plutôt que d'accroître les rendements à l'hectare comme envisagé initialement. De même, les riziculteurs de la plaine centrale thaïlandaise n'ont pas véritablement mis à profit les possibilités de maîtrise de l'eau qui leur ont été offertes pour mettre en œuvre des systèmes de culture inspirés de la révolution verte : la possibilité de contrôler parfaitement le niveau d'eau dans les rizières leur a surtout permis de pratiquer la technique du semis direct de grains pré-germés, d'éviter ainsi la pointe de travail du repiquage et d'accroître les superficies emblavées par actif.

LA MOTO-MÉCANISATION

L'emploi d'engins mécaniques actionnés par des moteurs fut parfois mis à profit pour intensifier les systèmes de production agricole. Ainsi les motopompes ont-elles servi le plus souvent à l'irrigation et au drainage, avec souvent pour effet d'accroître les rendements et de multiplier le nombre de cycles de culture annuels. En permettant de réaliser plus vite les travaux du sol, aussitôt après les récoltes, les petits motoculteurs abondamment utilisés dans les vallées et plaines de l'Asie du Sud-Est contribuent également à accélérer le rythme des cycles culturaux successifs dans les rizières. L'accroissement de la productivité du travail engendré par l'utilisation de ces équipements dans les exploitations familiales a donc été surtout mis au service d'un accroissement des productions agricoles, sans diminution du temps de travail, et même souvent avec création de nouveaux emplois.

● *Moto-mécanisation et systèmes extensifs*

Mais il n'en est pas toujours ainsi. Les propriétaires et gérants de très grandes exploitations pour qui l'emploi de main-d'œuvre salariée représente un coût monétaire n'ont pas nécessairement intérêt à mettre en œuvre des systèmes de culture ou d'élevage exigeants en force de travail. Ils optent même généralement pour des systèmes de production dans lesquels le recours à la mécanisation permet d'accroître la productivité du travail en diminuant l'emploi de travailleurs extérieurs. Ainsi parviennent-ils à réaliser des économies d'échelle et à accroître leur taux de profit. Force est donc de reconnaître que la moto-mécanisation des systèmes de production dans les exploitations latifundiaires s'est presque toujours traduite par la mise en œuvre de systèmes de production extensifs, peu générateurs d'emplois. Les grandes exploitations dédiées aux cultures du cotonnier, du soja ou du sorgho, en Amérique latine ou en Afrique australe, en sont la plus parfaite illustration.

● *La fragilisation des écosystèmes*

Le problème est que cette moto-mécanisation, en permettant la simplification excessive des travaux réalisés à grande échelle, tend à fragiliser considérablement les écosystèmes cultivés. L'emploi de tracteurs et d'engins de forte largeur suppose généralement l'essouchage intégral des parcelles cultivées. La multiplication des labours stimule la minéralisation de l'humus. Les éléments minéraux ainsi libérés sont fréquemment entraînés par lessivage et ne peuvent plus être recyclés en surface. Le brûlis fréquent des pailles contribue également à la baisse du taux d'humus des sols, dont la stabilité structurale ne cesse alors de décroître. Le passage répété des tracteurs et des outils ne manque pas non plus d'avoir des effets néfastes sur la structure des sols : tassements et lissages en profondeur, encroûtements superficiels, etc. Il contribue aussi parfois à gêner l'activité de la mésofaune favorable à leur perméabilité (vers de terre, termites) et rend la terre pulvérisée en surface plus sensible à toutes les formes d'érosion.

Ainsi en est-il, par exemple, en Amérique centrale, dans les plaines littorales du Pacifique, où le recours inconsidéré à la charrue à disques et au *cover-crop* a exposé les particules fines de terre aux vents dominants et accéléré ainsi l'érosion éolienne de terrains initialement très fertiles. L'utilisation de petits avions pour l'épandage aérien des pesticides se manifeste, quant à lui, par une dispersion exagérée et dangereuse de molécules toxiques dans l'atmosphère. La dégradation de l'environnement devient donc une préoccupation majeure dans les régions de grande agriculture moto-mécanisée.

Bibliographie

- MAZOYER M., ROUDART L., 1997, *Histoire des agricultures du monde*, Paris, Seuil.
- RUTHENBERG H. 1980, *Farming systems in the tropics*. 3ème éd. Oxford, Clarendon Press.

Le climat et la production végétale

À partir d'une contribution de F. Maraux (CIRAD)

Les plantes se présentent comme des objets vivants, capables de fournir à l'humanité (directement ou indirectement) son alimentation, et d'occuper l'espace minéral dans lequel elles évoluent. Si on les observe avec l'œil du biologiste ou du physicien, elles se présentent aussi comme des machines biologiques, dont la propriété principale est de convertir l'énergie solaire en biomasse. Le mécanisme mis en jeu est la photosynthèse, qui dote les plantes d'un système permettant d'intercepter l'énergie lumineuse, d'investir cette énergie dans la réorganisation du CO_2 de l'air en molécules organiques simples, de les reconfigurer en molécules plus élaborées (assimilats), puis de redistribuer ceux-ci dans les différents organes de la plante (végétatifs, reproductifs et de stockage).

L'efficacité de la machine biologique est, au premier abord, faible (de l'ordre de 4 %) ; c'est-à-dire que, si la plante est au mieux de sa forme, seulement 4 % de l'énergie radiative qu'elle intercepte sont effectivement convertis sous forme de biomasse au terme du processus. Les 96 % restants sont dissipés sous forme de rayonnement (réfléchi ou ré-émis dans l'atmosphère), ou de chaleur dissipée dans l'atmosphère ou dans le sol, sous forme sensible (élévation de température) ou latente (évapotranspiration). Cependant, compte tenu de la taille de la surface terrestre qui reçoit le rayonnement solaire, les quantités d'énergie et de biomasse sont très importantes : à titre d'exemple, dans les débats actuels sur les accords de Kyoto dans le cadre de la convention cadre sur les changements climatiques, les seuls États-Unis estiment que leurs forêts permettent de piéger annuellement 300 millions de tonnes de CO_2 .

L'efficacité de la conversion d'énergie radiative en biomasse est encore atténuée par de nombreux facteurs, liés pour une part aux caractéristiques génétiques des plantes considérées (nous n'en parlerons pas), et d'autre part aux facteurs du milieu (nous les détaillerons) qui font que la machine biologique fonctionne plus ou moins bien.

LES BASES PHYSIQUES DE L'AGROCLIMATOLOGIE

● *Le bilan radiatif*

Le soleil émet dans l'espace un rayonnement continu (rayonnement extraterrestre), dont la longueur d'onde est comprise entre 0,3 et 2,8 micromètres, et à l'intérieur de laquelle les longueurs d'onde comprises entre 0,4 et 0,78 micromètres correspondent à la bande visible. Ce rayonnement attaque la terre sous un angle dépendant de la période de l'année et de la latitude du lieu.

À la verticale, et s'il ne subissait aucune atténuation en traversant l'atmosphère, il apporterait une énergie de 8,4 joules par centimètre carré et par minute. Une partie de ce rayonnement est interceptée par l'atmosphère et la couche nuageuse, et une partie du rayonnement transmis est réfléchié par la surface de la terre et repart vers l'univers. Cette fraction du rayonnement est appelé l'albédo, et dépend principalement des caractéristiques de la surface d'interception (sa couleur, sa géométrie). Si c'est de la neige fraîche, l'albédo est de l'ordre de 0,8 (presque toute l'énergie reçue est réfléchié, ce qui explique la persistance des manteaux neigeux) ; si c'est de l'eau, l'albédo est proche de 0 (presque toute l'énergie reçue est absorbée) ; si c'est un couvert végétal, il peut varier entre 0,15 et 0,3.

Dans l'infrarouge, la terre reçoit aussi un rayonnement, dont la longueur d'onde est comprise entre 0,78 et 50 micromètres, émis par l'atmosphère, la couche nuageuse, et dans une moindre mesure le soleil ; mais la terre ré-émet également un rayonnement vers l'univers dans ces mêmes longueurs d'onde. Réception et émission de ce rayonnement dans l'infrarouge peuvent représenter une part importante du bilan radiatif (20 à 50 %), et sont très à l'ordre du jour depuis quelques années, car ils gouvernent le phénomène d'effet de serre. On explique ainsi sommairement ce phénomène : l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement infrarouge émis par la terre, et certains gaz émis par suite des activités humaines (le CO₂, le CH₄, le N₂O) favorisent fortement cette absorption. Ce faisant, tout se passe comme si, à l'image d'une serre, ce rayonnement était retenu par l'atmosphère, et donc contribuait à son réchauffement. L'augmentation de la teneur de l'atmosphère en ces différents gaz ne modifie pas la composante radiative issue du soleil, mais augmente la rétention de chaleur par l'atmosphère dans l'infrarouge.

Bilan radiatif à la surface de la terre

L'équation qui suit exprime le bilan radiatif à la surface de la Terre : $R_n = (1 - \alpha) R_s + R_{nl}$

R_n est le solde du bilan radiatif, ou rayonnement net, et représente l'énergie nette reçue par la Terre toutes longueurs d'ondes confondues, exprimé en mégajoules par mètre carré et par jour ; α est l'albédo (sans dimension, entre 0 et 1) ; R_s est le rayonnement incident (après avoir traversé l'atmosphère et la couche nuageuse) ; R_{nl} est le bilan dans les grandes longueurs d'ondes (rayonnement émis par la voûte céleste moins celui qui est ré-émis par la terre), exprimé aussi en mégajoules par mètre carré et par jour.

● **Le bilan d'énergie**

Nous analysons maintenant l'utilisation qui est faite de cette énergie.

● **Le cas d'une nappe d'eau libre**

L'étude d'une nappe d'eau libre intéresse en principe assez peu les agronomes ; elle permet cependant d'étudier dans un cadre physique simple les échanges d'eau et d'énergie entre la terre et l'atmosphère.

L'énergie radiative reçue par une surface d'eau libre, solde du bilan radiatif, a trois destins possibles :

- > réchauffer l'eau libre ;
- > réchauffer l'atmosphère au-dessus de la nappe d'eau ;
- > faire passer de l'eau de la forme liquide à la forme vapeur (évaporation : on rappelle que pour passer de la forme liquide à la forme vapeur, l'eau a besoin d'énergie, en moyenne 2500 joules pour vaporiser un gramme d'eau).

L'équation suivante exprime ce bilan : $R_n = H + G + ET$

H est le flux de chaleur dans l'air (dont l'intégrale est le réchauffement ou le refroidissement de l'atmosphère), G le flux de chaleur dans la nappe d'eau, et ET la chaleur latente de vaporisation (correspondant au flux d'évaporation).

Cette équation illustre l'effet de vases communicants entre les différents destins de l'énergie radiative reçue. Si l'on simplifie encore cette équation, en disant qu'à l'échelle de la journée, le terme G s'annule (le réchauffement de l'eau pendant la journée est annulé par le refroidissement qui s'opère pendant la nuit), on a $R_n = H + ET$.

Dans ce cas, c'est la formule de Penman qui dicte les termes de la partition qui s'opère entre chaleur (H) et évaporation (ET). Vitesse du vent et humidité relative de l'air entrent dans la formule, car ils conditionnent l'efficacité avec laquelle l'énergie radiative peut être convertie en vaporisation de l'eau.

Formule de Penman

$$ET = \frac{R_n + E_a}{\dots}$$

R_n est le rayonnement net, la pente de la courbe de pression saturante de vapeur d'eau en fonction de la température de l'air, la constante psychrométrique et E_a le pouvoir évaporant de l'air, fonction de la vitesse du vent et de l'humidité

● Le cas de l'eau dans le sol

Lorsque l'énergie est reçue par un sol nu, le phénomène est tout à fait similaire, à cette différence près que le sol est plus ou moins humide. S'il est parfaitement humide, il se comportera comme une nappe d'eau libre ($R_{n0} = H_0 + ET_0$). S'il est parfaitement sec, aucune quantité d'eau ne pourra être vaporisée (toute l'énergie reçue sera alors utilisée pour réchauffer sol et atmosphère : $H = R_{n0}$). S'il est plus ou moins humide, on sera dans une situation intermédiaire (avec $H > H_0$ et $ET < ET_0$).

● Le cas des couverts végétaux

Les plantes, par leurs systèmes racinaires, puisent de l'eau dans le sol, la transportent vers les feuilles et l'eau est mise au contact de l'atmosphère dans des micro organes appelés stomates. C'est à ce niveau que se fait la vaporisation de l'eau. Par la possibilité qu'elles ont d'ouvrir ou de fermer leurs stomates, les plantes régulent leur transpiration ; si les stomates sont grand ouverts, en première approximation, on considérera que la plante transpirera comme une nappe d'eau libre ; s'ils sont fermés, elle ne transpirera pas.

● L'évapotranspiration potentielle

On l'a vu, les échanges d'eau entre le sol, les plantes et l'atmosphère sont gouvernés principalement par des considérations énergétiques. *Il est donc incorrect de parler de besoin en eau des plantes indépendamment des conditions environnementales dans lesquelles elles sont cultivées.*

Par ailleurs, pour une énergie radiative reçue, l'état de surface de la terre (sol et végétaux), le niveau de disponibilité de l'eau en surface, et le comportement stomatique des plantes vont gouverner la partition de l'énergie entre chaleur et évaporation.

Le calcul de l'évapotranspiration potentielle

La formule de Penman-Monteith, standardisée par la FAO en 1998, déduite de celle initialement élaborée par Penman (en 1948) pour calculer l'évaporation d'une nappe d'eau libre, permet d'étendre à des couverts végétaux ne souffrant d'aucune limitation quant à la disponibilité de l'eau dans le sol, le calcul de la somme de l'évaporation (eau du sol) et de la transpiration (transitant par les plantes) d'un couvert. C'est l'évapotranspiration potentielle (ET_0 , anciennement appelée ETP). Elle se réfère à un gazon, et prend en compte à la fois les phénomènes énergétiques décrits plus haut pour une nappe d'eau libre et les comportements spécifiques des couverts végétaux.

● Variations de l' ET_0 en fonction des paramètres climatiques

Quatre paramètres fondamentaux rentrent à des niveaux divers dans la formule :

- > le rayonnement ;
- > la vitesse du vent ;
- > l'humidité de l'air ;
- > la température de l'air.

Ce sont les quatre paramètres à partir desquels on peut calculer la demande climatique en un lieu, ses variations au cours du temps, sa variabilité d'une année à l'autre.

● L'évapotranspiration et la production de biomasse

L'alimentation hydrique des cultures est le premier facteur conditionnant son rendement. Si une espèce cultivée pour ses grains ou ses tubercules ne peut satisfaire que la moitié de ses besoins, on considère généralement qu'elle ne pourra pas fournir de rendement, et elle ne pourra être utilisée que comme parcours, ou espace sylvo-pastoral. C'est pourquoi une caractérisation agroclimatique d'une région s'intéresse en tout premier lieu à l' ET_0 .

En confrontant l' ET_0 à la pluviométrie, on a d'emblée un indicateur extrêmement pertinent. Bien que la production de biomasse soit *a priori* directement issue du rayonnement (1 mégajoule intercepté permet, à l'optimum, la production de 1,7 à 2,7 grammes de biomasse sèche, selon l'efficacité des plantes), l'alimentation hydrique conditionne pour une bonne part l'efficacité avec laquelle la photosynthèse pourra se réaliser. On peut estimer très grossièrement, pour les cultures annuelles, une liaison entre eau évapotranspirée en conditions de culture et biomasse produite par la relation suivante : 500 litres d'eau par mètre carré permettent la production d'un kilo de biomasse sèche.

LES PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET LES ACTIVITÉS AGRICOLES

● Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau peut être résumé ainsi : l'eau s'évapore depuis les surfaces d'eau libre, depuis le sol, les glaciers, et les végétaux. L'eau atmosphérique se condense dans les nuages, puis précipite à la surface de la terre. Elle est interceptée par la surface, à partir de laquelle elle s'infiltré (elle peut alors soit être stockée dans les horizons de surface, soit rejoindre les couches géologiques profondes), ou elle ruisselle (pour s'infiltrer plus loin ou rejoindre ruisseaux, cours d'eau, lacs ou océans). Ce cycle est fermé (il n'y a pas néoformation d'eau sur la terre ni transferts d'eau vers l'espace), mais, à la faveur des actions de l'homme ou des phénomènes naturels, les différents compartiments du cycle de l'eau peuvent être modifiés.

Tableau 1. Eau contenue dans les différents compartiments (en pourcentage de l'eau totale)

Océans	97,4 %
Atmosphère	0,009 %
Glaciers	1,96 %
Nappes souterraines	0,6 %
Lacs	0,015 %
Eau du sol	0,005 %
Rivières	0,0002 %

Les eaux qui intéressent la production agricole représentent une très faible part des eaux de la planète ; elles sont pourtant déterminantes dans la régulation du climat et de ses effets induits.

● Le climat

On définit le climat comme « *la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu, dans leur succession habituelle* ». Les phénomènes qui gouvernent les processus conduisant à l'établissement du climat. On pourrait faire de même pour l'ensemble des paramètres qui caractérisent le climat. Tous ces paramètres sont liés les uns aux autres et les lois de la physique permettent d'établir des modèles de circulation générale de l'atmosphère permettant la prédiction du temps. On se contentera de dire que ces lois ont un caractère à la fois déterministe (on peut prédire à cinq ou six jours de manière fiable l'évolution des paramètres dans un lieu donné) et probabiliste (au-delà de ce délai, on peut en donner des distributions de probabilités).

● Le climat change-t-il ?

On a depuis quelques années toutes les raisons de penser que le climat change, notamment sous l'action de l'homme : émissions de gaz à effet de serre, dont le CO₂.

De nombreux scénarios sont envisagés, conduisant à une hypothèse de réchauffement global¹, ce même réchauffement conduisant à des modifications de la végétation, de la productivité, de la distribution des autres paramètres du climat. De nombreux travaux de recherche, associant climatologues et agronomes, visent à prévoir les effets de ces changements et leurs impacts sur l'agriculture.

● **Les paramètres climatiques**

● **La pluviométrie**

La pluviométrie est le paramètre climatique le plus étudié, car c'est le plus variable d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre. Température, rayonnement, humidité relative de l'air et vitesse du vent présentent des coefficients de variation (CV^2) mensuels interannuels faibles (de l'ordre de 5 % pour le Sahel), alors que la pluviométrie présente des cv mensuels de 30 %, et des extrêmes oscillant de plus de 100 % autour de la moyenne. Par ailleurs, plus on réduit les pas de temps sur lesquels on analyse les données, plus les cv augmentent, et par voie de conséquence, plus il faut de longues séries historiques pour que les valeurs moyennes aient un sens. Pour autant, il est essentiel pour étudier les risques agricoles de caractériser, en même temps que la moyenne, la dispersion des valeurs. On dispose pour cela de différents outils.

● **L'analyse fréquentielle**

Elle repose sur l'hypothèse que les valeurs et la variabilité de la pluviométrie enregistrée dans les séries historiques passées est représentative des valeurs et de la variabilité de la pluviométrie que l'on pourra avoir dans l'avenir. Comme on l'a vu, cette hypothèse est forte. La technique consiste à traiter statistiquement une série de données de pluviométrie, à la classer par ordre croissant, à la segmenter, à calculer les fréquences d'apparition de montants pluviométriques³, et à en déduire les probabilités qu'un certain niveau de pluie soit atteint.

● **Les générateurs de climat**

On procède de la même manière que précédemment, mais on ajuste sur les séries observées des lois de distribution de probabilités, caractérisées par des paramètres : moyenne, écart-type... À la différence de la technique précédente, l'utilisation de générateurs de climat autorise la modification des paramètres des lois, donc permet d'introduire des hypothèses sur le changement de climat : tendance à l'augmentation ou à la diminution, augmentation des risques d'évènements extrêmes, etc.

● **La prévision saisonnière**

Des travaux récents menés à partir de l'étude du phénomène *El Niño* ont permis d'établir des prévisions portant sur quelques mois, et de donner en terme de probabilités la tendance attendue une saison donnée par rapport à une tendance moyenne générale attendue. Ces prévisions sont basées sur des mesures d'évolution de la température des océans, qui rentrent dans une part importante du bilan énergétique local.

1 Les simulations conduisent à des scénarios dans lesquels la température augmente entre 1 et 6 degrés durant ce siècle.

2 CV : rapport de l'écart type sur la moyenne.

3 Une année sur dix, sur cinq, sur deux, etc.

Bien qu'on ne connaisse pas très bien encore le degré de fiabilité de ces prévisions, il est probable que, dans les années qui viennent, les méthodes s'affineront et permettront de formuler en début de saison des conseils précieux pour les agriculteurs : dates de semis, espèces ou variétés à semer, compte tenu des précipitations attendues.

● Le rayonnement

La partie visible du rayonnement solaire et à l'intérieur de celle-ci la partie dite « photosynthétiquement active »⁴, représente le carburant de la machine à produire de la biomasse. Au premier ordre, ses variations dépendent de la latitude et de la période de l'année⁵, et de la couverture nuageuse. Ainsi, ce n'est pas forcément dans les régions intertropicales, bien que les rayons du soleil y attaquent la terre quasi verticalement, que l'on aura les plus forts rayonnements : la durée du jour y est de l'ordre de 12 heures⁶. Par ailleurs, du fait des conditions de nébulosité, les différences peuvent être importantes entre régions tropicales : en Côte d'Ivoire, 44 % seulement du rayonnement global incident arrive au sol, alors que ce rapport atteint 60 % dans les régions sahéennes.

● Le vent et l'humidité relative de l'air

Comme les autres paramètres climatiques, la vitesse du vent résulte du bilan énergétique qui provoque des différences de pression entre des masses d'air. En ce qui concerne la production agricole, le vent intervient à deux niveaux principaux : d'abord par son effet sur l'évapotranspiration des cultures, et, ensuite, par son effet mécanique sur les cultures.

● L'évapotranspiration

On l'a vu dans la formule de Penman, le vent intervient dans le second terme de la formule, combiné à l'humidité relative de l'air. En moyenne, à la surface du globe, il pèse de l'ordre du quart de l' ET_0 mais, localement, il peut peser autant que le terme radiatif : vents forts et secs, comme le mistral en vallée du Rhône, ou l'harmattan en région sahéenne. À l'inverse, dans les régions équatoriales, son effet sera souvent négligeable : vents généralement faibles et fortement humides.

● Les effets mécaniques sur les cultures

Même sans prendre en compte les événements exceptionnels (ouragans), contre lesquels on ne peut se défendre, le vent peut faire verser, voire briser les cultures sur pied; il peut aussi générer des nuages de poussière. Lorsque c'est nécessaire, il est possible de lutter contre ces effets en établissant des brise-vents. Ces derniers ont pour effet de perturber les écoulements des masses d'air, en créant à la surface de la terre des obstacles physiques (rugosité) qui concourent à l'effet recherché. Ces brise-vents peuvent être constitués de barrières artificielles ou de rideaux d'arbres. Dans ce dernier cas, pour bien analyser leur impact, il faut tenir compte des effets d'ombrage et des prélèvements d'eau effectués par les arbres.

4 PAR, de l'ordre de 50 % du rayonnement solaire.

5 Qui jouent à deux niveaux : incidence des rayons du soleil et durée du jour.

6 Contre 16 à 18 heures dans les régions tempérées en été.

● La température

La température résulte de l'état initial de la masse d'air et du bilan d'énergie local (cf. chapitre 414). En ce sens, elle joue en retour dans la détermination des besoins en eau, on n'y reviendra pas. Mais la température de l'air a aussi des effets déterminants sur la croissance et le développement des plantes. En dessous d'une certaine température, les plantes ne poussent pas ; au-dessus d'une certaine température, propre à chaque espèce, la croissance est pénalisée, voire arrêtée. Entre ces deux valeurs, la température pilote l'efficacité avec laquelle la machine biologique convertit le rayonnement en biomasse (croissance).

Le développement des plantes passe par des étapes, que la plante parcourt conformément à une programmation génétique interne. Pour les céréales, les grandes étapes sont : germination, phase végétative, phase reproductive, remplissage des grains. Chacune de ces étapes peut à son tour être subdivisée.

Points et degrés jours

Tout se passe comme si les plantes avaient besoin de cumuler un certain nombre de points, au terme desquels elles passeraient à l'étape suivante. Les points sont des degrés jours, que l'on calcule de la manière suivante :

- on détermine la base (température du zéro de végétation) : T_0 ;
- on somme, sur un pas de temps journalier, l'écart entre température moyenne de l'air T_m et celle de la base T_0 . On obtient $S = (T_m - T_0)$

La plante passe au stade phénologique suivant lorsqu'elle a atteint la valeur S requise.

Ces principes restent généraux, et ne prennent pas en compte les besoins physiologiques propres à chaque espèce : sensibilité aux températures extrêmes, sensibilité accrue à un moment précis du cycle, température du sol, etc. C'est pourquoi on mesure autant que faire se peut les températures minimales et maximales, et on traite ces valeurs avec des outils statistiques permettant d'estimer des risques particuliers.

Connaissant les espèces et les variétés ainsi que leurs besoins, on peut, à partir de données climatiques, cartographier les caractéristiques thermiques d'une région et les apparier pour en déduire les aptitudes d'une région à une culture donnée.

Attention : pour une étude opérationnelle, l'analyse proposée ne peut en aucun cas être menée en ignorant les autres contraintes potentielles, et notamment la contrainte hydrique.

LA MESURE DES PARAMÈTRES MÉTÉOROLOGIQUES

● *L'évolution de la technologie*

On dispose d'enregistrements météorologiques systématiques depuis le XIX^e siècle, mais c'est réellement depuis la fin de la seconde guerre mondiale que le système de mesure, les normes, l'enregistrement, le contrôle de qualité des données ont été systématisés. L'Organisation mondiale de météorologie (OMM) joue un rôle central dans ce processus de systématisation. Pour chaque paramètre, on dispose de normes, d'appareils agréés etc. qui ont fiabilisé l'ensemble du système.

Classiquement, les appareils météorologiques se divisaient en deux catégories : les appareils à lecture instantanée et les appareils dotés d'un mécanisme d'horlogerie, permettant d'enregistrer sur un graphique l'évolution du paramètre au cours de la journée : par exemple le thermomètre/thermographe ou le pluviomètre/pluviographe. Dans la pratique, les appareils à lecture directe sont en cours de disparition, et les appareils enregistreurs sont maintenant souvent des appareils qui émettent un signal électronique variable en fonction de la valeur du paramètre mesuré, ce qui permet de les connecter à des centrales d'acquisition de données sur place ou à distance : transmission par câble, par radio ou par satellite.

Cela permet des opérations de stockage, contrôle et interprétation immédiats et fiabilisés. Par ailleurs, de nombreux satellites météorologiques disposent de capteurs permettant d'appréhender, soit directement soit indirectement, les paramètres climatiques au sol. À la différence d'époques passées, on n'est plus démuné de données météorologiques, même dans les contrées les plus inaccessibles de la planète.

Nous décrivons sommairement, pour chaque paramètre climatique important, le principe de la mesure, des appareils, et des enregistrements.

● *La pluviométrie*

C'est *a priori* la mesure la plus simple et la moins coûteuse. On peut utiliser un pluviomètre aux normes recommandées par l'OMM, mais on ne fait pas une grosse erreur de mesure en recueillant les eaux de pluie dans un récipient cylindrique, placé horizontalement si l'on respecte quelques précautions de bons sens. On a aussi accès à des estimations indirectes, basées sur des mesures de température de nuages froids accessibles par les satellites météorologiques. L'intérêt de cette méthode, en dépit de son imprécision, est la possibilité de couvrir de vastes étendues, sur lesquelles des conditions de transport ou de suivi des stations météorologiques ne permettent pas de recueillir des informations fiables.

● *Le rayonnement*

On mesurait classiquement le rayonnement instantané avec des actinomètres ou des pyranomètres, dont le principe est l'absorption du rayonnement par un corps noir qui convertit en chaleur ce rayonnement reçu. Mais on dispose maintenant de capteurs capables de découper le rayonnement en bandes spectrales, et de mesurer le rayonnement spécifique reçu dans chacune de ces bandes (radiomètres).

L'héliographe

Plus simplement, des mesures encore très répandues sont réalisées à partir de l'héliographe, constitué d'une boule de verre qui concentre le rayonnement direct du soleil, lorsque celui-ci n'est pas masqué par les nuages, et brûle une bande de papier gradué.

Le dépouillement de ces bandes de papier donne une durée d'ensoleillement (n) que l'on convertit en rayonnement par une relation statistique de bonne qualité à l'échelle décadaire ou mensuelle : $R_s = R_a (a_s + b_s n/N)$

R_s est le rayonnement incident, R_a le rayonnement extraterrestre ; a_s et b_s sont des coefficients empiriques, dépendant du lieu, mais pour lesquels on ne fait pas une grosse erreur lorsque l'on retient : $a_s = 0,25$ et $b_s = 0,50$

Enfin, les satellites météorologiques fournissent, avec une résolution de 5 km, des données journalières de rayonnement, accessibles au public.

On prêtera une attention particulière aux unités dans lesquelles sont exprimés les rayonnements mesurés, en s'efforçant de ne retenir que les watts par mètre carré pour les puissances, et les joules par mètre carré et par jour pour les énergies. La littérature regorge d'unités spécifiques, liées aux instruments eux-mêmes, et qu'on ne peut pas toujours convertir directement en unités du système international.

● *Le vent*

La vitesse du vent est classiquement mesurée par des anémomètres (ou graphes), qui enregistrent et totalisent des distances parcourues, ainsi que la direction du vent. À la différence des autres paramètres météorologiques, les appareils de mesure du vent ont connu peu d'évolutions technologiques au cours des dernières années, et on dispose par techniques satellitaires seulement de méthodes indirectes peu fiables.

● *L'humidité relative de l'air*

Elle est mesurée classiquement par des hygrographes, et plus récemment par des capteurs électroniques, reliés à des centrales d'acquisitions de données. Ces capteurs sont de plus en plus fiables. Ils doivent être cependant régulièrement étalonnés, à l'aide de psychromètres qui restent les appareils les plus exacts et fiables pour la mesure ponctuelle de l'humidité.

● *La température*

Les températures mini/maxi/moyennes, de l'air et du sol, sont classiquement mesurées par des thermomètres, placés dans des abris aux plans standardisés. Cependant, on a de recours à des thermocouples⁷ ou à des thermistances, reliés à une centrale d'acquisition de données. Des mesures indirectes par satellite sont aussi possibles, assez généralisées et fiables.

⁷ Soudure entre deux métaux, qui émet une différence de potentiel proportionnelle à la température.

● Estimation de l'évapotranspiration

Par le passé, on disposait de nombreux appareils dont la fonction directe ou indirecte était l'estimation de l'ETP. Les plus classiques sont :

- > *le bac classe A*. Ce bac cylindrique, aux dimensions standardisées, contient de l'eau qui s'évapore pendant la journée. On mesure chaque jour à l'aide d'une vis micrométrique la hauteur d'eau évaporée ; en cas de pluie, on déduit du montant mesuré la hauteur de pluie mesurée dans le pluviomètre ;
- > *le Piche* : du nom de son inventeur, il est constitué d'un tube gradué, contenant de l'eau, fermé à une extrémité, bouché à l'autre extrémité par une pastille de papier buvard en contact avec l'eau du tube. Le tube est placé dans un abri météorologique. On mesure chaque jour la hauteur d'eau qui a disparu. La valeur de l'évaporation Piche est très corrélée au déficit de saturation de l'air et au vent, mais a peu à voir avec l'évapotranspiration ;
- > *les lysimètres (à drainage ou pesables)* : conçus comme des ensembles étanches, les lysimètres ont pour principe la mesure du bilan hydrique d'une surface évaporante. S'ils sont pesables, on mesure les différences entre deux dates de masse de l'ensemble sol plus eau plus végétation. S'ils sont à drainage, on récupère un excès d'eau, dont la différence par rapport à la quantité d'eau que l'on a apportée représente la quantité d'eau évapotranspirée pendant la période.

Ces dispositifs, très utilisés par le passé, ne le sont plus guère. L'expérience a montré en effet que, soit pour des raisons théoriques⁸ ou de conduite pratique⁹, *il y a de gros avantages à calculer l' ET_0 à partir de la formule de base plutôt qu'à partir de mesures supposées directes*. La même remarque s'applique pour les formules plus ou moins empiriques que l'on trouve en quantité dans la littérature scientifique¹⁰.

● Les stations météorologiques automatiques

Les stations météorologiques classiques sont de plus en plus abandonnées : elles se révèlent coûteuses d'entretien et leur fiabilité est à la mesure de celle à la fois des observateurs et des appareils. De plus en plus, y compris dans les pays disposant de peu de moyens, on leur préfère les stations automatiques. Celles-ci ont des niveaux de sophistication divers : alimentation électrique classique ou par panneaux solaires, données stockées sur support informatique ou télé transmises, etc. Pour un coût initial de l'ordre de 6000 euros, elles permettent de fournir des données fiables, prétraitées, qui, globalement, permettent d'augmenter sensiblement le rapport qualité/coût des données.

8 Géométrie des appareils, perturbations liées à l'environnement.

9 Les oiseaux viennent s'abreuver dans les bacs, les observateurs se trompent dans les relevés.

10 Thornthwaite, Hargreaves, Turc, Blaney et Criddle, etc.

● Représentativité des données

En principe, chaque station météo n'est représentative que de l'endroit où les données ont été mesurées. Pour estimer la représentativité spatiale, il n'y a pas à proprement parler de méthode. On peut néanmoins, pour résoudre le problème, chercher à répondre à deux questions :

- > «quels sont les facteurs qui font que les données que je mesure en un point A ne seraient pas représentatives de ce qui se passe en un point B ?» Les réponses à cette question tiennent souvent au relief et aux gradients naturels ;
- > «sur quelle base extrapoler, ou interpoler des données que j'observe en un point A et en un point B, pour estimer les paramètres en un point C sur lequel je n'ai pas de données ?»

La réponse à la question 1 donne les clés de la réponse à la question 2. On notera par ailleurs que la variabilité spatiale des pluies est très sensiblement plus élevée que celle de la température, du rayonnement ou de l'humidité de l'air.

En cas d'absence de données

Pour les données manquantes, la FAO (FAO 56, p. 58) propose des formules climatiques ou statistiques permettant d'approcher indirectement des données manquantes. La FAO a fait un gros effort de rassemblement des données météorologiques complètes, sur des pas de temps mensuels, accessibles sur demande dans la base de données CLIMWAT¹¹. De plus, la base de données FAOCLIM (sur cédérom) fournit les principales données de quelque 19 000 stations de par le monde.

Par ailleurs, un certain nombre de serveurs distribuent des données météorologiques en libre service¹² pour tous les endroits du monde définis par la latitude et la longitude. Sauf exception, on n'a pas accès aux données brutes d'un lieu et un jour donné, mais à des moyennes qui, dans l'immense majorité des cas, sont suffisantes pour les applications que l'on veut en tirer en agriculture.

LES CLIMATS DE LA ZONE INTERTROPICALE

Les climats de la zone intertropicale sont *toujours chauds en plaine*. Il n'y a pas de saisons thermiques et c'est la pluviométrie qui permet de définir éventuellement une saisonnalité. Deux principaux types de climats se distinguent donc : *les climats toujours pluvieux, dits équatoriaux*, et *les climats à saisons alternées, dits tropicaux*. Les premiers peuvent se rencontrer assez loin de l'équateur géographique, alors que les seconds sont représentés jusqu'à des latitudes très basses.

● Les climats équatoriaux

Le terme équatorial ne devrait s'appliquer qu'aux régions de basses latitudes, où la pluviométrie est générée, le long de l'équateur météorologique, par la convergence intertropicale. Or, rares sont les régions de la planète où la convergence intertropicale se stabilise tout au long de l'année : Panama, Nouvelle-Guinée. Les plus vastes ensembles de climats équatoriaux doivent la pérennité de leur pluviosité à plusieurs mécanismes pluvio-gènes, impliquant des paramètres d'échelle locale : topographie,

¹¹ Plus de 3 000 stations.

¹² NOAA, LMD, IRD, IPCC.

couvert végétal. Ces régions sont marquées par une certaine monotonie des conditions météorologiques au cours de l'année.

Les vents sont rares et faibles, hormis les brises de mer et de terre d'alternance régulière. La brise de mer pénètre souvent largement sur le continent¹³, créant des convergences supplémentaires responsables d'un fort accroissement de la pluviosité.

Les régimes thermiques sont peu contrastés. La température moyenne annuelle tourne autour de 26-27°C, non seulement sur les côtes, mais également loin dans l'intérieur. Les contrastes saisonniers sont faibles ; l'écart entre les températures moyennes mensuelles extrêmes est de 3°C à Franceville (Gabon), 2,1°C à Manaus (Brésil), 1,3°C à Singapour, 1,2°C à Cayenne, inférieur à 1°C aux îles Marshall. Si les matinées sont assez souvent belles, le ciel se charge vite, avec des grains de fin d'après-midi, un peu plus tardifs sur la côte que dans l'intérieur. Ainsi se justifie la faiblesse annuelle de l'insolation qui n'atteint jamais la moitié des 4 000 heures théoriquement possibles, avec des minima très bas dans les zones côtières : 1 200 au maximum sur la côte pacifique de la Colombie.

Les précipitations sont toujours abondantes, tombant sous forme d'averses, souvent violentes ; elles dépassent partout 1,50 m par an, parfois 2 m. Les volumes maximaux caractérisent les côtes : Gabon, Cameroun, Guyanes. Mais, même à l'intérieur des continents, les pluies restent considérables : plus de 2 m dans le bassin amazonien, au pied des Andes comme au centre. Le nombre de jours de pluie est élevé ; il peut exceptionnellement atteindre 300, comme sur la côte de Colombie, donnant entre 9 et 10 m de pluie par an à Quibdo ou Buenaventura. Dans ces climats sans saison sèche, les conditions climatiques sont vraiment insalubres pour l'homme.

● **Les îles et les façades orientales des continents**

Il existe des climats toujours pluvieux à des latitudes plus élevées, là où se placent ordinairement des climats à alternance saison sèche/saison des pluies. Entre les tropiques, sur les îles, comme sur les façades orientales, le climat est avant tout commandé par le flux d'alizé, quasi permanent, qui, après avoir couvert un trajet maritime long, est proche de la saturation en vapeur d'eau. Îles et côtes peuvent être fort arrosées, tout au moins sur les versants au vent, exposés à l'est (par opposition aux versants sous le vent).

Ainsi aux îles Hawaï, à 19° Nord, il tombe jusqu'à 12 m de pluie par an sur les versants nord orientaux, contre parfois 0,5 m sur les versants sud-ouest, à quelques kilomètres de distance. Il en est de même à la Réunion où, côté au vent, Sainte-Rose reçoit 3,3 m de pluie en 212 jours. La station a un maximum d'été, mais il n'y a aucun mois sec ; comme le dit l'adage local : « *il y a deux saisons : la saison des pluies et la saison pluvieuse* » !

Ces climats intéressent d'abord des archipels au milieu de l'océan. À l'est des bassins océaniques, l'alizé issu du continent est encore sec et les îles sont fréquemment sub-désertiques : Canaries, îles du Cap vert. Au contraire, au centre et à l'ouest des océans, le climat d'alizé trouve sa pleine vigueur : îles du Pacifique central et occidental, domaine caraïbe, îles de l'océan Indien. Plus encore, il souffle sur de longues façades orientales : côtes orientales de Madagascar, de l'Afrique méridionale et orientale, façade sud-est du Brésil, Amérique centrale, Caraïbes.

¹³ Parfois jusqu'à 70-80 km.

Les régions riveraines des parties occidentales des océans (dont la température de surface est élevée), présentent une pluviométrie maximum en septembre-octobre dans l'hémisphère nord¹⁴, et février-mars dans l'hémisphère sud¹⁵. Cette pointe correspond aux passages des cyclones, certes peu nombreux, mais susceptibles de déverser plusieurs centaines de millimètres de pluie en moins de 24 heures.

● **Les climats tropicaux à saisons alternées**

Ils peuvent se rencontrer à l'équateur géographique (Sao Tomé), mais couvrent l'essentiel de la zone intertropicale, en allant vers les tropiques. Ils sont caractérisés par l'alternance d'une saison humide et d'une saison sèche. La saison des pluies dure au moins trois mois, ce qui différencie ces climats des déserts. La saison sèche dure au moins deux mois, à la différence des climats toujours pluvieux.

La saison humide, légèrement décalée par rapport au mouvement apparent du soleil (de mai à octobre dans l'hémisphère nord) se marque par une nébulosité assez importante, des températures chaudes mais non torrides (25-26°C), des amplitudes thermiques réduites par l'effet de serre, des précipitations plus ou moins continues de mousson et des averses brèves, accompagnées de coups de vent au passage des perturbations : ondes d'est, lignes de grain.

La saison sèche d'alizé (ce dernier est appelé harmattan en Afrique occidentale) se caractérise au contraire par des températures moyennes torrides (28-30°C), une évaporation potentielle intense, la sécheresse de l'air, le ciel clair. La durée de la saison sèche est fonction de l'éloignement par rapport à l'équateur météorologique. En Afrique occidentale, on passe progressivement des climats tropicaux humides, à saison des pluies dépassant six mois, aux climats tropicaux secs, de type sahélien.

● **Les climats tropicaux d'altitude**

Ces climats représentent, à l'échelle du globe, de très faibles étendues. On les trouve dans les Andes, dans l'Himalaya, ainsi que sur des chaînes de montagnes isolées présentant des altitudes élevées. Les caractéristiques de ces climats sont de faibles températures moyennes, des écarts de température diurnes très élevés et des niveaux de rayonnement élevés. La pluviométrie peut y être extrêmement variable et dépendante de la topographie et du régime climatique dans lesquels elles sont insérées.

14 Exemple : Le Raizet, en Guadeloupe.

15 Exemple : Tamatave, à Madagascar.

Le sol et la production végétale

À partir d'une contribution de M. Dosso (CNEARC)
et A. Ruellan

LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE

Couche de terre en général meuble et peu épaisse (quelques centimètres à quelques mètres), le sol recouvre une grande partie des continents : on parle de couverture pédologique.

● *Les fonctions du sol*

La couverture pédologique assume par rapport aux besoins et à la santé des hommes quatre groupes de fonctions essentielles :

Des fonctions biologiques

Le sol abrite partiellement ou complètement de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques incluent le sol. Par ailleurs, l'activité biologique du sol est essentielle à sa construction, à son fonctionnement, à sa fertilité : agrégation, porosité, disponibilité des éléments nutritifs, etc. Le sol n'existe pas sans activités biologiques abondantes et diversifiées.

Des fonctions alimentaires

Le sol produit et contient tous les éléments nécessaires à la vie¹ ; il accumule puis met à la disposition des plantes et des animaux la majeure partie de ces éléments. Il joue le rôle d'un garde-manger, plus ou moins grand et plus ou moins rempli. Une grande partie de ce que les plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol et les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

Des fonctions d'échange et de filtre

Le sol est un milieu poreux traversé en permanence par des flux hydriques et gazeux. L'eau des puits et des sources a préalablement traversé le sol ; la porosité du sol en influence l'alimentation. Par ailleurs, le sol est un filtre : l'eau, en le traversant, se transforme ; la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols. Le sol est également en échange constant avec l'atmosphère.

¹ Calcium, potassium, fer, azote, gaz carbonique, eau, air, etc.

Des fonctions de matériau et de support

Le sol est souvent matériau de construction : sable, argile, cuirasse ferrugineuse, croûte calcaire. Il est à la fois support et matériau de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux ou de poteries. Beaucoup de minerais viennent du sol et non des roches : bauxite (aluminium), fer, or ; ces minerais sont présents, en faible quantité, dans les roches ; l'altération les concentre dans les sols.

Au total, pour les sociétés humaines, le sol est source de vie. Par l'intermédiaire des plantes, des animaux, de l'eau, des minerais, le sol nourrit les hommes, leur santé et leurs activités en dépendent. Il est donc essentiel, pour tous, de savoir le connaître et de savoir l'utiliser.

● Sols, paysages, milieux

● Regarder le sol dans le contexte du paysage

Nul besoin d'être spécialiste pour remarquer que le sol change d'un paysage à l'autre et qu'il change d'un endroit à l'autre d'un même paysage : les couleurs, les morphologies superficielles, les épaisseurs, les morphologies internes visibles sur les coupes, les humidités, tout cela se modifie ; ces variations se font en fonction des autres composantes du milieu : le climat², le relief³ la végétation⁴, la roche⁵, etc.

● Le sol, transition entre le monde inanimé (les roches) et le monde vivant

Le sol, ressource renouvelable, se fait à partir de la roche sous-jacente, la roche-mère, qui s'altère, se transforme sous l'effet des actions conjuguées de la vie, de l'eau, de l'air. Les sols sont donc différents selon les roches, les climats, les végétations, les reliefs, et les sociétés humaines qui en vivent. En particulier, la potentialité du sol par rapport à la vie résulte de la richesse des roches, de l'agressivité du climat qui appauvrit plus ou moins vite le sol, des érosions naturelles qui rajeunissent en permanence les sols appauvris par la vieillesse⁶, de l'histoire des activités humaines.

● Les bases d'une démarche pour étudier les sols

La couverture pédologique est un milieu naturel continu : ce milieu a trois dimensions spatiales et une dimension temporelle.

Les principales caractéristiques de la couverture pédologique sont de trois types.

- > *ses constituants* sont minéraux et organiques, solides, liquides, ou gazeux.
- > *comme tout corps naturel, le sol a une morphologie*. Au même titre qu'une plante ou qu'un animal ont des organes reconnaissables que chacun sait décrire et dont les fonctions sont connues de tous, le sol a des horizons, des couleurs, des agrégats, des vides, des nodules et chacun de ces traits peut être décrit, a une fonction, peut être interprété en terme de fertilité et en terme de comportement face aux utilisations du sol.

2 Les couvertures de sols ne sont pas les mêmes en régions tropicales sèches et humides.

3 Le sol n'est pas le même à l'amont et à l'aval d'une pente.

4 Le sol n'est pas le même sous forêt, sous prairie, sous culture.

5 Le sol n'est pas le même sur schiste et sur calcaire.

6 Il s'agit là de l'effet positif des érosions.

Les constituants du sol sont donc organisés entre eux, verticalement et latéralement, formant des structures qui sont spécifiques du milieu sol : c'est la morphologie de la couverture pédologique. Ces structures sont le résultat de l'histoire de la formation des sols, mais aussi de leurs propriétés et dynamiques actuelles : ainsi, l'étude des structures permet de découvrir les propriétés physiques, chimiques, biologiques des sols et leurs relations avec les autres éléments du milieu ; elle permet de comprendre le passé et le présent du sol et d'élaborer des prévisions concernant le futur du sol et du milieu qui lui est associé.

L'observation de la morphologie des sols devrait donc être un préalable à toute intervention humaine, la fertilité et les conditions d'utilisation d'un sol étant très largement fonction de ses caractères morphologiques : de même qu'un médecin examine l'aspect général d'un malade avant de lui prescrire éventuellement des analyses, l'agriculteur et l'agronome doivent savoir examiner la morphologie d'un sol avant de prescrire, si nécessaire, la réalisation d'analyses chimiques et avant d'agir en matière de techniques culturales.

- > *Le sol est un milieu dynamique, en perpétuelle évolution.* Ceci lui confère sa quatrième dimension, qui est temporelle. Il y a en permanence évolution, transformations, cycliques ou non, des constituants et des structures. Et il y a, au sein des sols, de manière permanente ou intermittente, des transferts verticaux et latéraux de matières, sur des distances qui peuvent être très grandes : transferts solides, liquides, gazeux, biologiques, à l'échelle du micro-vide comme à l'échelle du bassin versant. Ainsi, au gré des saisons, le sol change d'aspect et de fonctionnement et, d'année en année, les sols naissent, puis mûrissent, c'est-à-dire s'enrichissent, puis vieillissent, c'est-à-dire s'appauvrissent. De par leurs activités, les sociétés humaines influencent fortement ces dynamiques : interventions directes, par exemple, de l'agriculteur qui défriche et cultive ; mais aussi, interventions indirectes par le canal des modifications climatiques, des modifications de la composition de l'atmosphère et de leurs conséquences sur les activités biologiques.

Une démarche intégrée

Au total, le sol s'étudie selon une démarche intégrée de description et de mesure de ses structures et de leur fonctionnement. Cette démarche comprend trois volets principaux :

- analyse structurale de la couverture pédologique : on y étudie les quatre principaux niveaux d'organisation de la couverture pédologique ;
- mesure des caractéristiques physiques et chimiques des constituants. Ces mesures n'ont de sens que si elles sont faites sur des échantillons prélevés en fonction de la réalité des organisations morphologiques ;
- suivi et mesure des fonctionnements, des transferts, des activités actuelles du milieu pédologique.

La réalisation intégrée de ces trois volets permet d'étudier comment les structures pédologiques évoluent dans l'espace et dans le temps, et ainsi de déterminer dans quelles conditions et avec quelles précautions le sol et l'ensemble du milieu peuvent être aménagés et utilisés.

● Les divers types de structures

Les structures de la couverture pédologique existent depuis l'échelle de l'organisation des particules, jusqu'à celle de l'unité de paysage.

Cependant, quatre types de structures, correspondant à quatre niveaux différents d'organisation et d'observation, sont tout particulièrement importants à décrire, à mesurer et à comprendre.

● Les organisations élémentaires

Ce sont des volumes pédologiques qui rassemblent des constituants. Ces organisations sont partiellement visibles à l'œil nu, partiellement à l'aide de microscopes. Sous le microscope les organisations élémentaires se décrivent en terme de constituants et de relations entre les constituants. Sur le terrain, les principaux types d'organisations élémentaires que l'on peut reconnaître et décrire, sont des *agrégats*, des *vides*, des *concentrations* de constituants, des *couleurs*, des *traces d'activités biologiques*. Il peut y avoir, au sein par exemple d'un agrégat ou d'un nodule, plusieurs niveaux emboîtés d'organisations élémentaires. Des déterminations analytiques complètent la description et la caractérisation des organisations élémentaires.

● Les assemblages

Ce sont des volumes pédologiques que l'on caractérise, sur le terrain et sous les microscopes, par la présence associée d'un certain nombre d'organisations élémentaires. Un assemblage se décrit en terme de types de constituants, d'agrégats, de vides, de concentrations, de couleurs, de caractères biologiques : on décrit ces organisations élémentaires et les relations qui existent entre elles. Des déterminations analytiques complètent la caractérisation des assemblages. Voici quelques exemples d'assemblages : andique, vertique, calcique, hydromorphe.

● Les horizons

Ce sont des volumes pédologiques plus ou moins parallèles à la surface du terrain. Chaque horizon se décrit en terme d'un ou plusieurs types d'assemblages et de leurs relations. Son épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Les limites supérieure et inférieure d'un horizon sont plus ou moins nettes, progressives ou brutales. Latéralement, l'extension d'un horizon est très variable : du mètre jusqu'à plusieurs kilomètres.

● Les systèmes pédologiques

Ce sont des volumes pédologiques, au sein desquels des horizons sont organisés entre eux, verticalement et latéralement, à l'échelle de l'unité de relief. Un système pédologique se décrit donc en termes d'horizons et de relations entre horizons : structures de ces horizons, superpositions verticales et successions latérales des horizons, nature des limites qui les séparent et des variations morphologiques qui marquent le passage d'un horizon à l'autre. Au terme d'une étude complète, un système pédologique est caractérisé par un type de dynamique évolutive, définie d'après des critères géochimiques, minéralogiques et structuraux.

Les études détaillées des constituants et des structures montrent qu'il y a entre les structures, aux différentes échelles, des relations spatiales et des relations temporelles.

À toutes les échelles, des traits pédologiques, des types d'horizons, des types de sols, apparemment très différents les uns des autres, sont en fait génétiquement reliés entre eux :

- > ils le sont dans l'espace, verticalement et latéralement, souvent sur de grandes distances : l'existence, en particulier, de relations latérales, de transferts latéraux de matière à l'intérieur de certaines couvertures pédologiques, a été à maintes reprises démontrée ;
- > ils le sont dans le temps, c'est-à-dire qu'ils se succèdent dans le temps en un même lieu, par auto développement de la couverture pédologique ou par variation de facteurs externes.

Les variations temporelles sont de deux types :

- > *les variations saisonnières* ; la morphologie d'un sol varie en fonction des variations d'humidité, de température, d'activités biologiques ; ces variations influencent fortement la fertilité physique et chimique des sols, ainsi que leur comportement hydrologique et mécanique ;
- > *les modifications progressives, jour après jour, année après année* ; c'est l'évolution du sol qui, selon les caractères, se fait plus ou moins rapidement ; en particulier, l'utilisation des sols par l'homme modifie l'évolution de nombreux caractères morphologiques : transformation des structures, accélération ou ralentissement de certaines migrations internes de matière, érosion...

Relations spatiales et relations temporelles sont étroitement imbriquées. À roche-mère constante, dans un même paysage, tous les sols n'ont pas le même âge : la diversité spatiale des sols observée, c'est-à-dire la distribution spatiale des structures pédologiques, exprime les divers stades d'évolution d'une même couverture pédologique.

● La couverture pédologique et la fertilité

L'organisation morphologique des sols est un élément fondamental de leur fertilité : elle exprime de multiples aspects (physiques, chimiques, biologiques) des relations possibles entre la plante et le sol ; de surcroît, elle est par elle-même un facteur fondamental de la fertilité des sols : l'organisation morphologique influence grandement le développement des plantes, par elle-même et par son action sur les autres aspects de la fertilité.

L'organisation morphologique est également, d'une façon plus générale, un élément fondamental du comportement des sols ; elle exprime et elle influence les modes de circulation des eaux et les comportements mécaniques.

Les mesures physico-chimiques et mécaniques sont évidemment nécessaires pour vérifier et compléter les observations et interprétations structurales. Cependant, ces mesures n'ont de sens que si elles sont faites sur des matériaux déjà observés et interprétés morphologiquement.

LES ORGANISATIONS ÉLÉMENTAIRES DU SOL

Pour découvrir le sol, il faut d'abord le regarder puis l'analyser. La découverte et l'étude de la couverture pédologique passent obligatoirement par l'ouverture de *fosses*. L'observation d'une fosse donne le profil vertical du sol à cet endroit. Chaque fosse est donc une unité d'observation, que l'on appelle le profil.

● Les fosses pédologiques

● Localisation

Avant de se poser la question de la localisation des fosses, la région d'étude doit avoir été analysée en termes de paysages : on ne choisira qu'ensuite une unité de modelé élémentaire⁷ sur laquelle on décidera de faire l'étude de la couverture pédologique. Une fois l'organisation de la couverture pédologique comprise, on pourra extrapoler les résultats acquis.

On suppose ici que l'étude porte sur un bassin versant de quelques hectares⁸. La première étape consiste à choisir un premier axe, le long duquel seront faites les premières observations. Cet axe, pour recouper au mieux la diversité existante, sera perpendiculaire aux courbes de niveau. Le long de cet axe, on ouvre pour commencer au moins trois fosses⁹.

● Ouverture

Les dimensions d'une fosse doivent permettre à un observateur d'y travailler confortablement : un carré d'un mètre de côté est un minimum. Sa profondeur dépend de l'épaisseur du sol : une fosse est assez profonde lorsque la roche à partir de laquelle le sol s'est formé (roche-mère) est visible au fond. Quand les sols sont très épais, on ne peut creuser toutes les fosses jusqu'à la roche : on s'arrête alors vers deux mètres de profondeur.

L'utilisation de la *tarière* complète le travail fait à partir des fosses. On l'utilise lors d'une reconnaissance rapide, préalable à l'ouverture des fosses ; on l'utilise également après l'étude des fosses, pour rechercher les extensions latérales des observations faites dans les fosses. Cependant la tarière ne doit jamais être utilisée seule : les informations morphologiques que l'on peut en retirer sont toujours très incomplètes et modifiées par rapport à la réalité du sol en place.

● Description

L'étude d'une fosse commence par une reconnaissance rapide des principales variations morphologiques, structurales, en terme de couleurs, agrégats, textures, porosités, traits pédologiques, enracinements, humidités. Cette reconnaissance permet une première délimitation des *principaux horizons*. Chaque horizon est un volume de la couverture pédologique, plus ou moins parallèle à la surface du terrain. Il ne faut cependant pas oublier que la fosse ne représente qu'une fenêtre d'observation limitée, ouverte ponctuellement dans la couverture pédologique : l'horizon que l'on y voit est un volume dont les limites latérales, non visibles dans la fosse, sont à rechercher.

La deuxième étape du travail est alors d'entreprendre la description détaillée des *organisations élémentaires* et des *assemblages* de chaque horizon, ainsi que de décrire comment on passe, verticalement, d'un horizon à l'autre, par modification de ces organisations élémentaires et assemblages.

7 Interfluve ou bassin versant.

8 La démarche est la même quelle que soit l'unité de modelé que l'on doit étudier.

9 Le principe est que les fosses soient équidistantes : leur nombre est fonction de la longueur de l'axe.

Les chapitres qui suivent explicitent comment on procède à la description détaillée des organisations élémentaires, puis à leur interprétation en terme de genèse, de fonctionnement, de propriétés physico-chimiques, de comportement, de fertilité. Cette interprétation est faite successivement au niveau des organisations élémentaires, puis des assemblages, puis des horizons, puis du profil vertical tout entier.

Les organisations élémentaires sont de quatre types : *les couleurs, les agrégats, les vides, les traits pédologiques*. La solidité de ces organisations constitue un critère de description important

● **L'interprétation des couleurs**

La couverture pédologique est un milieu très coloré : presque tous les sols présentent des variations verticales et latérales de couleur, progressives ou rapides. Au sein d'un horizon, la couleur peut être homogène ou hétérogène : présence de volumes de couleur différentes : nodules, pellicules, réseaux...

● **La description des couleurs**

La couleur d'un volume de sol est déterminée par référence à un code international de couleur : le code Munsell¹⁰. Chaque couleur est notée par trois valeurs : la teinte (hue), la clarté (value), la pureté (chroma). La couleur change en fonction de l'humidité du sol : il faut donc la mesurer aux états sec et humide. Chaque horizon du sol se définit par une ou plusieurs couleurs. S'il y a plusieurs couleurs, il faut décrire, pour chaque type de volume de couleur, son abondance, son extension, ses formes, ses limites, son contraste par rapport aux autres volumes de couleur, ses relations avec les autres caractères d'organisation élémentaire de l'horizon : agrégats, vides, nodules, revêtements...

● **La signification des couleurs**

Les couleurs du sol s'interprètent en termes de constituants et de mécanismes.

Les principaux constituants qui colorent le sol

- > *la matière organique* colore en sombre : noir, marron, gris foncé... ;
- > *le calcaire et les sels solubles*, tels les chlorures et les carbonates, colorent en blanc ;
- > *le fer* colore différemment selon son état ;
 - *le fer ferreux*, dont la présence est due à un excès d'eau, colore en gris et en bleu ;
 - *la goëthite* (oxyhydroxyde, $\text{FeO}(\text{OH})$), conséquence d'un régime hydrique assez peu contrasté¹¹ colore en brun et en jaune ;
 - *l'hématite* (oxyde, Fe_2O_3), conséquence d'un régime hydrique très contrasté, avec alternance fréquente d'une humidité forte mais aérée et d'une sécheresse accentuée, colore en rouge.

10 Munsell Soil Color Chart.

11 Le sol est souvent humide, mais sans excès ; les phases de sécheresse ne sont ni fréquentes ni excessives.

Attention !

Il est dangereux de quantifier la présence d'un constituant à partir d'une observation de couleur. Les raisonnements peuvent être comparatifs, au sein d'un même profil, ou entre deux profils voisins mais ils ne doivent pas être traduits en chiffres.

● Les mécanismes en jeu

Les mécanismes qui colorient sont ceux qui agissent sur la présence et l'état des constituants :

- > *les activités biologiques, animales et végétales, accumulent de la matière organique* : les couleurs s'assombrissent ;
- > *les migrations et accumulations de l'argile¹², du calcaire, des sels* : les horizons appauvris en argile et en fer s'éclaircissent ; ceux enrichis en argile et en fer jaunissent, brunissent ou rougissent ; ceux où le calcaire ou les sels s'accumulent, blanchissent ;
- > *les régimes hydriques* : les horizons très bien drainés, recevant beaucoup d'eau mais s'asséchant vite et souvent, sont facilement rouges ; les horizons drainant moyennement bien, sont bruns ou jaunes ; les horizons drainant mal, sont gris ou tachetés de gris, de rouille, de jaune ou de noir.

L'observation et la mesure des couleurs permettent donc de commencer à découvrir la constitution et le fonctionnement du sol. À partir de là, des déductions sont possibles quant à la fertilité du sol. Les données de fertilité que l'on peut déduire sont celles qui sont liées à la présence de certains constituants¹³, à l'état du complexe adsorbant¹⁴ et à la dynamique de l'eau.

● L'interprétation des agrégats

Le deuxième caractère morphologique qui permet sur le terrain de poursuivre la description des horizons d'un sol concerne la façon dont les différents constituants du sol sont agrégés : lorsque l'on dégage à la pointe du couteau un volume du matériau sol observé, la plupart du temps ce volume se fragmente naturellement en *agrégats* de formes et de tailles diverses.

Les agrégats résultent de l'assemblage des particules entre elles et de la fissuration des ensembles agrégés. Comme pour les couleurs, la présence et la morphologie des agrégats varient verticalement et latéralement ; au sein d'un même horizon, des agrégats de morphologies différentes peuvent coexister, chaque type ayant sa signification propre en terme d'histoire, de fonctionnement et de fertilité du sol.

En fonction de la présence ou non d'agrégats au sein d'un horizon, on distingue, au niveau de chaque horizon, deux types principaux de structures¹⁵ :

- > *les structures fragmentaires* : il y a des agrégats ;
- > *les structures continues* : il n'y a pas d'agrégats.

¹² Et du fer qui l'accompagne presque toujours.

¹³ Texture, matière organique, calcaire, sels.

¹⁴ Que l'on peut déduire de la reconnaissance de certains mécanismes, telles les migrations d'argile.

● Les structures fragmentaires

Trois mécanismes sont à l'origine de la formation des agrégats :

- > *la floculation* des constituants, principalement des argiles¹⁶ : ce mécanisme est lié à la présence de matière organique et à la présence de cations bivalents (Ca^{++} , Mg^{++}) ou trivalents (Al^{+++}) sur le complexe adsorbant des minéraux argileux ;
- > *la cimentation* des constituants, due à la présence de matière organique, de minéraux argileux, de fer, de calcaire, de silice ; l'activité biologique joue également un rôle important de cimentation des constituants entre eux ;
- > *la fissuration* des domaines floculés ou cimentés ; cette fissuration se fait à chaque fois que le sol se dessèche un peu ; elle est d'autant plus développée que le sol est plus argileux et que les argiles du sol sont de type plus gonflant.

Les agrégats sont décrits par leurs formes¹⁷, leurs dimensions¹⁸, leur netteté, c'est-à-dire leur visibilité et la facilité avec laquelle on les sépare les uns des autres, leur consistance¹⁹.

Il y a trois principaux types d'agrégats : arrondis, anguleux, feuilletés. Chacun de ces trois types d'agrégats a des significations précises en terme de constituants, de genèse, de fonctionnement, de fertilité.

Attention !

Au sein d'un horizon, il peut y avoir association de plusieurs types d'agrégats, différents par leurs formes et par leurs dimensions ; par ailleurs, il y a presque toujours plusieurs niveaux emboîtés de structuration en agrégats : un agrégat centimétrique se décompose en agrégats de plus en plus petits, qui peuvent être soit de la même forme, soit de forme différente : un agrégat anguleux centimétrique peut être composé d'agrégats arrondis plus petits.

● Les structures fragmentaires arrondies

Elles se forment par floculation et/ou cimentation. Elles peuvent être *grenues*²⁰, *grumeleuses*²¹, ou *polyédriques sub-anguleuses*²².

La formation des structures fragmentaires arrondies est favorisée par la présence de matière organique, de cations Ca^{++} et Al^{+++} sur le complexe adsorbant, par l'activité biologique, en particulier les vers de terre.

15 Le mot structure est employé ici dans son acception classique en pédologie. Lors de la première partie de ce texte, nous avons utilisé ce mot dans un sens plus large : celui de l'organisation à toutes les échelles, depuis celle du microscope jusqu'à celle du paysage.

16 Le mot argile a, en science du sol, deux significations différentes : une signification minéralogique : l'argile est un minéral siliceux, un silicate ; la taille de ces minéraux est toujours fine (inf. 5μ), voire très fine (inf. 2μ) ; une signification granulométrique : le terme argile désigne alors une taille de particule inférieure à 2μ ; avec cette signification, une particule d'argile n'est pas forcément constituée de minéral argileux ; parmi les particules très fines, dites argileuses, on peut ainsi trouver du quartz, des micas, du calcaire, ... ; cependant, en général, la plus grande partie des minéraux argileux d'un sol sont sous la forme de particules argileuses, c'est-à-dire de taille inférieure à 2μ .

17 Arrondies, anguleuses ou feuilletée, plus ou moins régulières.

18 Du millimètre au décimètre.

19 Plus ou moins friable : résistance à la pression des doigts.

20 Agrégats petits (inf. 1cm), très régulièrement arrondis.

21 Agrégats petits à moyens (inf. 2cm), à contours très irréguliers.

22 Agrégats en général assez gros, de formes polyédriques mais tous les angles sont arrondis.

Les structures fragmentaires arrondies constituent pour les racines un milieu accueillant : poreux, friable, stable²³. Les liquides et les gaz y circulent facilement ; la vie animale et végétale s'y développe bien.

Du point de vue chimique, les structures fragmentaires arrondies signifient :

- > soit un milieu neutre ou légèrement basique (pH = 7 à 8,2), lié à la présence de Ca^{++} et Mg^{++} sur le complexe adsorbant des argiles et de la matière organique, voire de calcaire comme constituant : il s'agit alors d'un milieu fertile²⁴ ;
- > soit un milieu très acide (pH < 5,5), le cation structurant étant Al^{+++} ; il s'agit alors d'un milieu chimiquement pauvre.

De bonnes potentialités

Pour ce qui est de l'horizon de surface d'un sol, la présence d'une structure arrondie fine, grenue ou grumeleuse, signifie de bonnes teneurs en matière organique, donc des potentialités alimentaires fortes²⁵.

● Les structures fragmentaires anguleuses

Elles se forment par floculation et/ou cimentation, puis fissuration. Elles peuvent être polyédriques, cubiques ou prismatiques. La taille des agrégats varie du plus fin millimétrique, au décimétrique et plus.

La formation des structures fragmentaires anguleuses est favorisée par :

- > la présence d'argile minéralogique en quantités significatives (plus de 10 à 20 %) : ce sont surtout les structures cubiques et prismatiques qui n'apparaissent que lorsqu'il y a beaucoup d'argile (plus de 30 %) ; la présence d'argile gonflante²⁶ favorise la genèse de structures anguleuses très nettes ;
- > l'absence d'activité biologique animale, en particulier de vers de terre ;
- > de faibles teneurs en matière organique.

Les agrégats anguleux sont plus compacts, moins friables, moins stables²⁷ que les agrégats arrondis. Les structures anguleuses constituent donc pour les racines un milieu beaucoup moins accueillant que les structures arrondies :

- > elles réduisent le volume de sol explorable par les racines, et ceci d'autant plus que les agrégats sont plus grossiers, plus consistants, plus fermés par la présence de pellicules argileuses sur leurs faces ;
- > les liquides et les gaz circulent plus facilement entre les agrégats que dans les agrégats ; pendant les périodes humides, la circulation de ces fluides est ralentie par la fermeture des fissures ;
- > la vie animale et végétale se développe plus facilement entre les agrégats que dans les agrégats ; ceci est particulièrement vrai pour les racines.

²³ Les agrégats résistent à leur destruction par l'eau.

²⁴ Légère gêne éventuelle s'il y a excès de calcaire fin.

²⁵ Complexe adsorbant important capable de retenir les éléments nutritifs.

²⁶ Smectite.

²⁷ Ils résistent moins bien à leur démolition par l'eau.

Un milieu déséquilibré

Au total, les horizons à structure anguleuse constituent un milieu déséquilibré du point de vue de leur pénétrabilité. Du point de vue chimique, on ne peut rien déduire de très précis à partir de l'existence de ces structures anguleuses. On retiendra cependant que :

- leur présence est facilitée par l'absence de matière organique et d'activité biologique intense²⁸, par la présence d'argiles, principalement d'argiles gonflantes²⁹, par un complexe adsorbant désaturé³⁰ ou par un excès de Na^+ sur le complexe adsorbant ;
- leur présence réduit l'accessibilité aux racines des richesses chimiques du sol.

● Les structures fragmentaires feuilletées

Les structures feuilletées sont caractérisées par l'existence d'une composante horizontale ou oblique de la fissuration. *Elles peuvent être en plaquettes obliques, lamellaires ou squameuses*. Chacune de ces structures est originale par ses caractères morphologiques et par ses origines.

Les structures en plaquettes obliques

On les appelle aussi *structures verticales*. Les agrégats sont de forme trapézoïdale, à faces lissées et striées, de taille décimétrique, très compacts.

Cette morphologie est le résultat de la présence en quantité importante d'argiles gonflantes³¹ : à chaque fois que le sol s'humidifie, il augmente beaucoup de volume (jusqu'à plus de 40 %), d'où des mouvements internes très importants donnant naissance à des surfaces obliques et lissées, striées, dénommées *faces de glissement*. Quand le sol se dessèche, il se fissure fortement, en particulier le long des surfaces obliques : ainsi naissent les plaquettes obliques.

Des défauts importants, mais une richesse chimique

Ces structures présentent, en exagéré, les mêmes défauts que les structures anguleuses : forte réduction du volume de sol explorable par les racines, circulations déséquilibrées des eaux, des gaz, de la vie. À ceux-ci s'ajoutent :

- une circulation très ralentie des fluides quand le sol est humide : la porosité fissurale est complètement fermée et les autres types de porosités sont très réduites ;
- des mouvements internes très importants, rythmés par les alternances permanentes d'humidification et de dessiccation : les racines, qui se développent beaucoup le long des fissures, sont écrasées, cassées, après avoir été, au préalable, copieusement noyées par l'eau qui envahit les fissures ; les constructions faites sur et dans les sols affectés par ce type de structure, s'en ressentent fortement.

En revanche, les horizons caractérisés par ce type de structure sont toujours chimiquement très riches : le complexe adsorbant, dû aux argiles gonflantes, est important ; de surcroît, il est toujours saturé, principalement en Ca^{++} et en Mg^{++} .

28 Complexe adsorbant faible.

29 Complexe adsorbant élevé.

30 Teneurs faibles en Ca^{++} .

31 Smectite, en particulier montmorillonite.

Les structures lamellaires

Les structures lamellaires, dont l'épaisseur varie du millimètre à quelques centimètres, ont des origines variées. Il peut s'agir :

- > d'un héritage de la structure de la roche ;
- > du résultat de certaines accumulations mono-minérales qui se produisent dans de nombreux sols : ces accumulations de calcaire, de fer, de silice, donnent naissance à des croûtes et à des cuirasses dont la structure est fréquemment lamellaire ;
- > de la conséquence d'une alternance répétée de gel-dégel de certains horizons limono-sableux ; un horizon, durci et lamellaire, prend naissance à l'intérieur du sol : on l'appelle fragipan ;
- > du résultat de la destruction, par les pluies ou par des irrigations mal conduites, des agrégats arrondis ou anguleux de la surface du sol : il se forme une croûte de battance, de fine épaisseur, à structure lamellaire ;
- > de la conséquence d'un travail du sol qui compacte par les roues des tracteurs et des remorques, par le soc de charrues mal réglées : il y a formation soit d'une structure lamellaire à la surface du sol, soit d'une structure lamellaire à la base de l'horizon travaillé par les instruments culturaux : on parle alors de semelle de labour.

Les croûtes de battance et les semelles de labour

Les structures lamellaires sont toujours un obstacle à la pénétration verticale de l'eau et au développement des systèmes radiculaires. Elles facilitent les circulations latérales des eaux, les porosités horizontales étant beaucoup plus développées que les porosités verticales. Quand elles se forment rapidement, à la surface³² ou à l'intérieur³³ d'un sol cultivé, cela signifie soit que le sol est fragile du point de vue structural, soit que les travaux agricoles sont mal conduits, non adaptés. Croûtes de battance et semelles de labour facilitent le ruissellement des eaux, à la surface et à l'intérieur des sols : c'est ainsi que peuvent naître des érosions importantes.

La structure squameuse

Cette structure, très particulière, n'existe qu'à la surface des sols. *Elle se présente sous la forme de plaquettes*, d'épaisseur millimétrique ou centimétrique, aux bords relevés. La face supérieure de chaque plaquette est argileuse, très lisse et luisante ; la face inférieure est sableuse, la taille des particules diminuant progressivement quand on va du bas vers le haut de la plaquette. Cette structure signifie qu'il y a eu, temporairement, à la surface du sol, une mare d'eau ; par exemple à la suite d'un orage violent ou d'une irrigation à débit trop fort. La présence de cette structure signifie toujours destruction, par excès d'eau, des agrégats de la surface des sols : c'est un signe négatif sur la stabilité structurale du sol (elle est faible), le fonctionnement hydrique du sol (il est peu perméable), la manière dont le sol est traité : travail du sol déstabilisant et compactant, irrigations à débit excessif et gouttes d'eau trop grosses.

³² Croûte de battance.

³³ Semelle de labour.

Les points importants de cette étude des structures fragmentaires

Un horizon est d'autant plus accueillant pour un système racinaire que sa structure en agrégats est plus arrondie, plus fine, moins consistante : cette structure facilite la circulation des gaz et des solutions, la pénétration des racines et des animaux.

Cette structure est favorisée par :

- la présence de matières organiques neutres ou légèrement basiques ;
- un complexe adsorbant saturé à 80 % par du calcium Ca^{++} ;
- une forte activité biologique ;
- globalement, un milieu neutre ou légèrement basique.

Les fertilités, physiques et chimiques, sont alors maximum. Cependant, la structure arrondie, fine, peu consistante, existe également en milieu très acide, à $\text{pH} < 5,5$. C'est alors la matière organique acide, et surtout l'aluminium Al^{+++} , qui jouent les rôles structurants. La fertilité physique reste bonne, mais la fertilité chimique est mauvaise : manque d'éléments nutritifs et excès d'aluminium toxique pour de nombreuses plantes. La tentation de l'agriculteur est alors d'essayer de remonter le pH de son sol, par exemple en apportant des quantités importantes de chaux : c'est en effet la solution, à condition de ne pas s'arrêter en route, c'est-à-dire d'apporter suffisamment de calcium pour compenser la disparition de l'aluminium structurant ; la gamme de pH comprise entre 5,5 et 6,5 est périlleuse pour la stabilité structurale du sol, car il n'y a plus d' Al^{+++} et pas encore assez de Ca^{++} : le risque de déstructuration et de compaction est très fort.

Les structures anguleuses et feuilletées réduisent le volume de sol explorable par les racines, et ceci d'autant plus que les agrégats sont plus gros et plus consistants : les gaz, les solutions, les racines, les animaux, circulent alors plus facilement le long des fissures que dans les agrégats, fissures qui sont elles-mêmes instables puisqu'elles se referment à chaque fois que le sol s'humidifie.

Les principaux facteurs responsables de ces structures anguleuses et feuilletées, qui naissent par fissuration et pression, sont :

- des taux d'argile élevés, en particulier, beaucoup d'argile gonflante ;
- l'instabilité structurale, favorisée par de faibles taux en matière organique, de faibles taux en calcium sur le complexe adsorbant, des excès de sodium sur le même complexe ;
- des cimentations excessives.

● Les structures continues

On parle de structure continue quand il n'y a pas d'agrégats. Il y a deux types de structure continue : *particulaire et massive*.

● La structure particulaire

On parle de structure particulaire quand les particules constitutives du sol n'ont aucune adhérence entre elles : le meilleur exemple que l'on puisse en donner est celui d'un sable sec, de plage, de dune côtière ou désertique.

La structure particulaire n'existe que dans des horizons très sableux. On ne la trouvera donc que dans deux situations extrêmes :

- > *celle d'horizons non ou peu différenciés sur roche-mère sableuse*, par exemple sur dunes de formation très récente : l'altération et la pédogenèse n'ont pas encore eu le temps de produire des ciments organiques et minéraux capables d'agréger les particules sableuses ;
- > *celle, au contraire, d'horizons très différenciés*, complètement appauvris en éléments capables d'agréger : c'est le cas, en particulier, des horizons appauvris des podzols, qui peuvent être complètement particuliers à l'état sec, la pédogenèse podzolisante ayant éliminé les argiles et les matières organiques capables de former des agrégats.

● La structure massive

On parle de structure massive quand les particules d'un horizon sont cimentées entre elles sans que cela forme d'agrégats ; en particulier, il n'y a pas de fissuration. Quand on travaille au couteau ce type d'horizon, les mottes de terre que l'on arrache sont des éclats, créés artificiellement, et non des agrégats limités par des faces naturelles. La structure massive se décrit principalement en termes de morphologie et de dureté des éclats³⁴. Il est évident que ces deux caractères varient beaucoup en fonction de l'humidité : morphologie et dureté doivent être évaluées sur des horizons secs.

La structure massive caractérise les situations suivantes :

- > *des horizons humides qui, à l'état sec, sont particuliers* : quand un enfant joue à faire des pâtes de sable, il fabrique une structure massive à partir d'une structure particulaire ;
- > *des horizons, non organiques, développés sur des roches-mères trop sableuses* pour qu'une structuration en agrégats puisse prendre naissance ;
- > *des horizons non ou peu différenciés par la pédogenèse* : c'est le cas, par exemple, des sols jeunes sur roches-mères sableuses ou limoneuses et des horizons de base de sols différenciés sur ces mêmes roches-mères ;
- > *des horizons, au contraire, très différenciés, fortement appauvris par la pédogenèse* : les horizons lessivés ont souvent des structures massives, voire particulières ;
- > *des horizons dont les structures fragmentaires ont été détruites par les pratiques culturales*.

Fréquemment, une structure massive à l'état humide se fissure à l'état sec, donnant naissance à une structure fragmentaire anguleuse, en général grossière et faiblement développée : ce phénomène témoigne d'une structuration naissante ou finissante, de toute façon fragile et instable.

³⁴ Ils peuvent être anguleux ou émoussés.

Au total, les structures continues caractérisent une absence d'argile. Il s'agit :

- > soit d'un milieu pédologique peu différencié, sur une roche-mère sableuse ou limoneuse ; la structure continue révèle une faible potentialité chimique étant donnée l'absence d'argile donc de capacité d'échange forte ; cette capacité d'échange peut cependant être saturée, assurant ainsi un minimum de fertilité ;
- > soit d'un milieu pédologique très différencié et appauvri en argile : l'appauvrissement peut être naturel. Cet appauvrissement est toujours accompagné d'une forte désaturation du complexe adsorbant, donc d'une acidification, de l'horizon concerné ; dans ce cas, la structure continue est synonyme de fertilité, actuelle et potentielle, faible, et ceci d'autant plus que cette structure a une tendance particulière. L'appauvrissement peut aussi être d'origine anthropique, conséquence du travail du sol par l'homme : les baisses des taux de matières organiques, les diminutions des activités biologiques, les apports d'engrais destructurants, les tassements par des instruments aratoires et autres tracteurs et remorques, les dessiccations excessives suite aux défrichements, les irrigations mal faites, tout ceci conduit à la destruction progressive, souvent très rapide, en quelques années, des structures fragmentaires au profit de la structure continue.

Au terme de cette étude de l'agrégation des sols, une observation importante, déjà perçue lors de l'étude des couleurs, s'impose : les caractères morphologiques des sols varient en fonction de l'humidité. Ceci est vrai pour les couleurs et pour l'agrégation ; nous verrons que ceci est également vrai pour les porosités, pour les traits pédologiques, pour les stabilités structurales.

Ceci signifie que le comportement du sol face aux plantes, la façon dont il réagit aux actions anthropiques, varient en fonction des états hydriques, donc en fonction des saisons. Il nous faut donc connaître ces variations et une seule observation, isolée dans le temps et isolée de son contexte d'utilisation du sol, n'est pas significative.

● **L'interprétation des vides**

Le troisième caractère morphologique qui permet, sur le terrain, de poursuivre la description des horizons d'un sol, concerne les volumes occupés par l'air, par l'eau, par la matière vivante : ce sont les vides, autrement dit la porosité de l'horizon. *On appelle porosité d'un matériau pédologique le volume non occupé par les constituants solides.* C'est le volume occupé par les constituants liquides et gazeux ; ce sont aussi les voies des transferts solides, liquides et gazeux, ainsi que de l'activité biologique. La porosité totale d'un volume de sol varie, selon les horizons, de 20 % (horizon très peu poreux, très compact) à 80 % (horizon très poreux, très léger).

Une grande partie de la porosité est invisible à l'œil nu, voire à la loupe : les microscopes optiques et électroniques sont nécessaires pour tout voir et comprendre. On peut cependant, à l'aide de l'œil, de la loupe et de quelques mesures, voir, déduire, mesurer et comprendre l'essentiel.

● **Les types de vide**

Les vides se reconnaissent, se décrivent et se nomment d'après leur morphologie, leur origine, leur taille.

● La morphologie et l'origine des vides

D'après leur morphologie et leur origine, on distingue trois types de porosités : les porosités d'altération, les porosités texturales, les porosités structurales.

Les porosités d'altération

Les porosités d'altération sont celles qui se développent à l'intérieur et à la surface des minéraux des roches, par dissolution et transformation de ces minéraux. Ces porosités ne sont pas visibles à l'œil nu ni à la loupe, sauf celles qui affectent les surfaces des graviers et des sables. Elles représentent cependant une grande partie de la porosité totale des matériaux pédologiques ; ce sont les premières à naître lors du processus de formation des sols à partir des roches.

Les porosités texturales

Les porosités texturales sont celles qui subsistent entre les particules une fois que celles-ci sont en contact entre elles : on peut dire qu'il s'agit des vides qui résultent de l'entassement des particules.

La morphologie et le volume des vides de cette porosité sont fonction :

- > d'une part, de la taille et de la morphologie des particules constitutives du matériau sol : les vides qui séparent les particules argileuses sont, évidemment, très fins, visibles au microscope électronique ; ceux d'un matériau sableux sont beaucoup plus grossiers, partiellement visibles à l'œil nu ;
- > d'autre part, de ce que l'on peut appeler l'histoire énergétique du matériau sol ; en effet, la porosité texturale n'est pas indépendante des diverses pressions qui s'exercent sur les matériaux ; parmi ces pressions, deux sont importantes : *le dessèchement* qui provoque le rapprochement des particules, souvent d'une manière irréversible – on parle de tassement hydrique – ; *l'activité biologique* : une racine qui pousse, un animal qui se déplace à l'intérieur du sol, provoquent autour d'eux des contraintes qui rapprochent les particules entre elles – on parle de tassement biologique.

Ces variations, dans le temps, de la porosité texturale d'un matériau sont liées à deux causes principales : la quantité d'eau qui entoure chaque particule (la porosité diminue quand le matériau se dessèche) et l'élasticité des particules.

Les porosités structurales

Les porosités structurales sont celles qui résultent de l'organisation des particules entre elles : il n'y a plus simplement entassement, avec ou sans contrainte, mais aussi structuration, mise en relation, déplacement des particules, donnant naissance à de nouvelles porosités.

Les porosités structurales sont de trois types :

- > *les porosités tubulaires et de cavités* : elles sont d'origine biologique, animale ou végétale ;
- > *les porosités fissurales* : elles résultent des variations de volume des argiles ; ces porosités sont celles qui délimitent les agrégats anguleux et les agrégats feuilletés ; on les trouve aussi à l'intérieur des agrégats ;
- > *les porosités d'entassement des agrégats arrondis* : ce sont les vides qui séparent les agrégats arrondis les uns des autres.

La description de la porosité doit tenir compte, non seulement de la forme des vides³⁵ mais aussi de la morphologie et de la constitution des parois. Il faut, en particulier, bien noter si les constituants qui sont le long des vides sont les mêmes que ceux qui en sont éloignés : y-a-t-il ou non, par exemple, revêtements argileux sur les parois des vides ? Ce type d'observation permet de mieux comprendre les relations qui peuvent exister entre les constituants du sol, la composition des eaux et le comportement des racines qui sont au contact des parois.

● La taille des vides

D'après la taille des vides, on distingue deux types de porosités :

- > *la macroporosité* : l'eau peut y circuler par gravité³⁶ ; c'est dans la macroporosité que l'eau circule rapidement après chaque pluie ; mais, dans un sol sain, cette macroporosité doit, après un drainage rapide, rester disponible pour la circulation de l'atmosphère ; la macroporosité est, principalement, d'origine structurale ; la porosité texturale d'un matériau sableux est également de l'ordre de la macroporosité ;
- > *la microporosité* : l'eau y circule par capillarité ; c'est dans la microporosité qu'est retenue l'essentiel de l'eau que les plantes consomment au fur et à mesure de leurs besoins ; quand la microporosité est trop faible, par exemple dans les sols sableux, les sols s'assèchent très vite et les plantes flétrissent ; la microporosité peut avoir toutes les origines possibles.

● La mesure de la porosité

La porosité s'observe d'abord sur le terrain. À l'œil nu et à la loupe, on peut observer :

- > *la porosité structurale inter-agrégats*, c'est-à-dire les porosités fissurales et les porosités d'entassement des agrégats arrondis ;
- > *une partie de la porosité intra-agrégats*, c'est-à-dire une partie des porosités tubulaires et de cavités, des porosités fissurales, des porosités texturales concernant l'entassement des sables et des graviers.

Il est important que ces observations et descriptions des porosités se fassent en fonction des autres caractères morphologiques : couleurs, agrégats, traits pédologiques.

L'observation des porosités se poursuit sous les microscopes, optiques et électroniques : tous les types de porosité y sont observables, quant à leur localisation, quant à leur morphologie, quant à leur relation avec les constituants, quant à leur relation avec les agrégats, les couleurs, les traits pédologiques. Au laboratoire, par mesures directes et indirectes, on peut quantifier tous les types de porosité.

L'observation et la mesure des porosités, notamment des porosités structurales, doivent être répétées au cours de l'année : en effet, elles se modifient en fonction des saisons.

35 Ce que l'on voit sur le terrain en tridimensionnel, à l'œil nu et avec la loupe, et ce que l'on voit au microscope en bidimensionnel sur lame mince.

36 Le diamètre des vides dépasse, selon les cas, c'est-à-dire selon la morphologie et selon les constituants, 3 à 8 μ .

● La porosité et la fertilité des sols

La porosité de la couverture pédologique détermine ses relations avec l'air, l'eau, la vie. C'est, en effet, de la porosité de la couverture pédologique que dépendent :

- > *la dynamique des échanges gazeux (eau, CO₂, CH₄, NO_x, ...)* entre le sol et l'atmosphère : les sols influencent la composition de l'atmosphère mondiale, donc les climats ;
- > *le fonctionnement, quantitatif et qualitatif, des rivières et des nappes phréatiques* : les eaux de pluie et d'irrigation traversent plus ou moins facilement et plus ou moins rapidement les divers horizons de la couverture pédologique ; la porosité des sols conditionne les importances relatives des circulations verticales et latérales et c'est donc d'elle que dépendent la recharge des nappes phréatiques et le régime des crues des rivières ; c'est également d'elle que dépend la composition chimique des eaux de ces nappes et rivières, puisque c'est au cours de leur passage dans la porosité des sols que les eaux acquièrent au contact des parois des vides une partie de leur composition chimique ;
- > *le déclenchement des érosions, superficielles et internes* : l'érosion hydrique est toujours provoquée par une eau, qui n'ayant pas trouvé la porosité dont elle a besoin pour s'infiltrer verticalement dans le sol, ruisselle, donc érode.

La fertilité d'un sol est d'autant meilleure :

- > que la macroporosité est suffisante pour éviter les excès d'eau, les engorgements qui noient les racines ;
- > que la microporosité est suffisante pour que de l'eau soit retenue et puisse être mise à disposition des racines au fur et mesure des besoins ;
- > qu'il n'y a pas, dans le volume de sol exploré par les racines, de variation brutale de porosités : entre deux horizons, entre les porosités inter et intra-agrégats ;
- > qu'il n'y a pas, dans le temps, de variation trop importante de porosité en fonction de l'humidité : les horizons argileux gonflants et les agrégations fragiles sont défavorables au développement des systèmes racinaires.

Enfin, dans la mesure où l'on veut faire jouer aux sols un rôle de filtre (épuration des eaux usées), la porosité doit être suffisante pour faciliter l'accès aux sites d'échanges.

Une bonne porosité permet la continuité des flux hydriques et gazeux

C'est le cas d'un horizon à structure grumeleuse et grenue fine, riche en matière organique, à forte activité biologique, quelle que soit sa texture : dans ce type d'horizon, il y a continuité entre les diverses porosités, inter et intra-agrégats ; de surcroît, les porosités y sont stables, peu sensibles aux variations d'humidité ; les flux peuvent donc y être continus, dans l'espace et dans le temps : pour les racines, c'est l'habitat de rêve, sans obstacle.

Ce n'est pas le cas d'un horizon argileux, à structure prismatique grossière, au sein duquel il y a de nombreuses ruptures entre les divers types de porosités, en particulier entre les porosités grossièrement fissurales qui séparent les agrégats anguleux et les porosités très fines de l'intérieur des agrégats ; de surcroît, les porosités y sont instables, diminuant fortement dès que le sol s'humidifie ; la continuité des flux n'est pas assurée, ni dans l'espace, ni dans le temps : pour les racines c'est en permanence la course d'obstacles.

● **L'interprétation des traits pédologiques**

Le quatrième caractère morphologique qui permet, sur le terrain, de poursuivre la description des horizons d'un sol et d'en interpréter la genèse et le fonctionnement, concerne des organisations qui résultent de mouvements et de transferts au sein des sols : mouvements et dépôts de particules, argileuses, limoneuses, sableuses ; mouvements et précipitations d'éléments en solution : calcaire, sels, matières organiques ; mouvements des animaux et des racines ; gonflement des argiles.

Ces mouvements et transferts aboutissent à la création *de traits pédologiques* : *revêtements, nodules, bandes, pédotubules*. Ce sont, pour la plupart, des figures d'accumulation de matière (argiles, carbonates, sables...), accumulation absolue après migration, ou accumulation résiduelle après départ des autres éléments. L'ensemble de ces organisations se décrit successivement sur le terrain, à l'œil nu et à la loupe, puis au laboratoire à l'aide de microscopes.

● **Les revêtements**

Il s'agit de fines pellicules, recouvrant les parois de vides. Les revêtements les plus connus sont argileux ; mais il existe aussi, très fréquemment, des revêtements calcaires, ferriques, alumineux, siliceux, organiques, gypseux, salés ; et il y a aussi des revêtements limoneux ou sableux.

Les revêtements témoignent presque toujours d'une migration d'éléments dans les eaux qui parcourent les vides du sol : ces éléments ont été arrachés ou dissous, puis transportés par les eaux, verticalement et latéralement, sur des distances variables, puis déposés par sédimentation ou par précipitation-cristallisation. La présence des revêtements signifie donc qu'il y a accumulation de matière, par exemple d'argile : beaucoup d'horizons d'accumulation d'argile, existant dans les sols, se reconnaissent par la présence de revêtements argileux.

Dans certains cas, des pellicules argileuses résultent d'une réorganisation locale, sans déplacement de particules, sous l'effet des pressions exercées par le gonflement des argiles ou par le passage des racines ou des animaux : ces pellicules sont fréquentes à la surface des agrégats anguleux ou feuilletés de sols à argiles gonflantes.

Enfin, certains revêtements sont résiduels : c'est le cas, par exemple, de certaines pellicules sableuses qui constituent, sur des surfaces horizontales, des dépôts suite au départ sélectif des particules plus fines, argileuses et limoneuses. Dans ce cas, les revêtements témoignent d'un départ de matière, les éléments concentrés sous la forme de revêtements étant les moins mobiles.

Les revêtements sont décrits par leur couleur, leur épaisseur, leur localisation vis-à-vis des vides, des agrégats, des racines, des particules grossières (graviers, sables), leurs constituants³⁷.

³⁷ Si on est capable de les reconnaître avant analyse, ce qui est fréquemment le cas.

● Les nodules

Les nodules sont des concentrations plus ou moins sphériques, soit d'éléments ayant migré en solution, soit d'éléments résiduels de ces migrations : dans les deux cas, ils correspondent à une accumulation de matière, absolue ou résiduelle. Les nodules les plus fréquents sont les nodules calcaires et les nodules d'hydroxyde de fer.

Les nodules d'accumulation absolue résultent de la précipitation localisée, au sein d'un volume qui s'enrichit et grossit progressivement, d'un minéral. Ce phénomène d'accumulation absolue est très fréquent avec les éléments relativement solubles, tels les carbonates, les sulfates, les chlorures : le moteur principal de l'accumulation est alors l'évaporation, par exemple, autour des systèmes racinaires. Il concerne également les hydroxydes de fer ou d'aluminium : ceci signifie alors qu'il y a eu, avant migration, changement d'état : par exemple, réduction du fer permettant sa solubilisation, donc sa migration ; ou encore complexation du fer ou de l'aluminium par des produits organiques, permettant également leur solubilisation et leur migration. L'accumulation nodulaire se fait alors à la suite d'un nouveau changement d'état : oxydation, destruction des complexes organiques, avec cristallisation dans les vides et, éventuellement, épigénie³⁸.

Les nodules d'accumulation relative correspondent à la concentration nodulaire des éléments les moins solubles en conséquence du départ des éléments les plus solubles. Ces concentrations relatives sont fréquentes, par exemple, pour le fer et pour l'aluminium.

Les nodules se décrivent d'après leur taille, leur forme, leur couleur, leur dureté, leur structure interne, leur localisation par rapport aux autres caractères morphologiques : agrégats, vides, revêtements.

Les nodules sont souvent la première étape de phénomènes d'accumulation beaucoup plus importants que sont, par exemple, *les encroûtements et croûtes calcaires*, très développés dans les régions semi-arides et arides méditerranéennes, ou *les carapaces et cuirasses ferrugineuses* des régions tropicales.

● Les bandes

Les bandes constituent, au sein d'horizons à texture grossière sablo-limoneuse, des feuillettes, d'épaisseur millimétrique ou centimétrique, plus riches en argile, ou en fer, ou en matière organique. Ces feuillettes, globalement horizontaux, sont toujours ondulés, les ondulations pouvant être très accentuées. Longtemps considérées comme des figures sédimentaires, les bandes peuvent en fait avoir deux types d'origine :

- > l'accumulation au sein d'un horizon poreux, après migration verticale ou latérale au sein de la couverture pédologique ;
- > la dégradation et le lessivage des particules argileuses : dans ce cas, les bandes ne sont pas d'accumulation, mais elles sont résiduelles de l'appauvrissement en argile d'un horizon argileux.

Les bandes contiennent toujours des revêtements d'argile, de fer ou de matière organique.

38 Épigénie : cristallisation avec dissolution concomitante des minéraux pré-existants.

● Les pédotubules

On appelle pédotubules des volumes pédologiques que l'on peut interpréter comme étant le résultat de l'activité biologique animale : boulettes fécales, agrégats finement grenus résultant de l'activité des vers de terre, constructions, au sein des sols, par les fourmis ou les termites, volumes centimétriques résultant des transports de terre, à l'intérieur du sol, par des taupes, des chiens de prairie, des rats, etc.

● L'interprétation de la solidité des agrégats

Les associations entre elles des particules constitutives des sols sont plus ou moins fragiles, plus ou moins stables. En particulier, la solidité des structures en agrégats et, corrélativement, la stabilité des vides liés à l'agrégation et aux activités biologiques, sont très variables. Or la solidité des agrégats et la stabilité de certains types de porosité sont des critères importants de la fertilité des sols.

Afin de définir la solidité d'un agrégat, on utilise deux notions importantes : *la consistance et la stabilité structurale*, la plus importante étant la stabilité structurale.

● La consistance

C'est la résistance d'un agrégat, ou d'un éclat, à sa destruction par pression. Sur le terrain, en décrivant un sol, on estime cette consistance par la résistance, de l'agrégat ou de l'éclat, à sa destruction par pression entre les doigts.

La consistance varie beaucoup en fonction de l'humidité : mis à part les horizons consolidés, cimentés, telles les croûtes calcaires, les cuirasses ferrugineuses etc., les agrégats qui sont durs à l'état sec ne le sont pas à l'état humide.

Une consistance trop forte, souvent liée à une forte compacité, est toujours négative du point de vue de la fertilité : elle complique le développement des systèmes racinaires ; elle rend également beaucoup plus difficile le travail du sol par l'agriculteur.

Par ailleurs, consistant, compact, dur, ne signifient pas stable, c'est-à-dire qu'un agrégat très dur peut s'effondrer dès qu'il est mis dans de l'eau, et, inversement, un agrégat friable, qui s'écrase facilement sous la pression des doigts, peut être complètement stable, insensible, quand on le plonge dans de l'eau.

● La stabilité structurale

La stabilité structurale est une estimation ou une mesure de la résistance des agrégats, donc des porosités structurales, face aux agents qui peuvent les détruire, et en particulier face à l'eau.

On estime la stabilité structurale d'un agrégat en le plaçant dans un verre d'eau : on observe s'il reste stable ou s'il se détruit et, dans ce cas, la vitesse à laquelle l'effondrement de l'agrégat se fait. Cette observation se fait facilement sur le terrain. Dans toute la mesure du possible, il est préférable de le faire avec de l'eau distillée (ou de l'eau de pluie), une eau chargée en sels, même légèrement, allant dans le sens d'une stabilisation des agrégats. Au laboratoire, différents tests permettent également de mesurer la stabilité des agrégats.

Au niveau des sols et des paysages, la stabilité structurale s'observe et s'estime en fonction des comportements des agrégats face aux agents naturels et anthropiques qui les agressent, en fonction de la genèse de mottes et d'horizons compacts, en fonction du développement de phénomènes graves d'érosion. En effet, les principales expressions d'une mauvaise stabilité structurale sont les suivantes :

- > la destruction par la pluie de la structure superficielle : le travail fait par l'agriculteur pour préparer un lit de semence à structure arrondie peut être détruit par les gouttes de la pluie ou de l'irrigation frappant les agrégats : si les agrégats sont stables, ils résisteront aux impacts des gouttes ; si les agrégats sont instables, ils se détruiront et formeront une croûte de battance ;
- > la formation dans les sols cultivés, au sein de la partie supérieure du sol, entre 0 et 50 cm de profondeur, dans ce que l'on appelle le profil cultural, de mottes compactes, peu poreuses, consistantes à l'état sec ou d'horizons compacts, à structure massive ou feuilletée : semelles de labour ou d'irrigation. Ces mottes et horizons compacts sont les conséquences des travaux agricoles et/ou de l'irrigation, sur des sols à structure fragile ou fragilisée ;
- > le développement d'érosions qui peuvent, très vite, prendre des allures catastrophiques : érosion en nappe, puis en rigoles qui peuvent, en quelques années, devenir de véritables ravins. Ces érosions sont la conséquence des ruissellements, superficiels ou sub-superficiels, qui se développent sur les croûtes de battance et sur les semelles de labour ou d'irrigation.

Les principaux responsables de la stabilité structurale

Les matières organiques, les hydroxydes, les cations bi ou trivalents sur le complexe adsorbant (Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++}) consolident les agrégats. Les particules limoneuses, quand elles sont prédominantes par rapport aux particules argileuses et sableuses, les cations monovalents sur le complexe adsorbant (H^+ , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , etc.), les excès d'eau fragilisent les agrégats.

Des mécanismes pédologiques, naturels ou provoqués par l'homme, fragilisent les structures :

- > le retrait, du complexe adsorbant, des cations bi ou trivalents : acidification d'un sol neutre, par départ des cations alcalino-terreux remplacés par l'hydrogène ; ou remontée du pH d'un sol très acide dans lequel la stabilité structurale est assurée par l'aluminium : l'aluminium disparaît, laissant la place principale à l'hydrogène ; on sait que la stabilité structurale est maximum au-dessous de pH 5,5 (elle est alors assurée par Al^{+++}) et au-dessus de pH 6,5 (elle est alors assurée par Ca^{++}) ; entre 5,5 et 6,5, les dangers d'instabilité structurale sont maximum (pH mesurés dans de l'eau distillée) ;
- > le lessivage des argiles : il y a appauvrissement, dans les horizons de surface du sol, en complexe adsorbant capable de retenir des cations structurants, et il y a augmentation relative des particules limoneuses ;
- > la destruction des matières organiques et la diminution des activités biologiques ;
- > les variations d'excès d'eau : hydromorphie temporaire ;

- > l'alcalinisation par le sodium : dès qu'il y a plus de 10 à 15 % de Na^+ sur le complexe adsorbant, la stabilité structurale devient très faible ; cela correspond à un pH supérieur à 9 ;
- > la destruction des agrégats par le travail du sol : tassement d'un sol humide ou pulvérisation d'un sol sec.

Au total, l'instabilité structurale est un danger : elle gêne l'enracinement des plantes, l'activité biologique animale, la circulation des fluides, en particulier la pénétration verticale de l'eau dans les sols³⁹ : d'une façon générale, les richesses alimentaires d'un sol, y compris l'eau, ne sont régulièrement accessibles aux plantes que si la structure est stable.

Conseils pratiques

Il faut éviter :

- les systèmes de culture appauvrissant en matière organique ;
- les systèmes de culture obligeant à travailler dans les champs en conditions trop sèches (risque de pulvérisation) ou trop humides (risques de tassement) ;
- de laisser les sols à nu ;
- les irrigations excessives suivies de dessèchements excessifs ;
- le pâturage sur sols humides (risque de tassement).

Il faut favoriser :

- les apports de matières organiques : fumiers, composts, résidus de récoltes, engrais verts ; la matière organique, par elle-même, par son complexe adsorbant, par l'activité biologique qu'elle favorise, est de loin le meilleur artisan d'une bonne stabilité structurale ;
- les alternances de cultures permettant des alternances de types d'enracinement ;
- un travail du sol qui aère sans tasser ;
- la saturation du complexe adsorbant en Ca^{++} (idéal = 80 % du complexe en Ca ; le reste en Mg^+ , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+).

39 D'où érosion, alimentation réduite des nappes phréatique, crues des rivières plus fortes.

LES PRINCIPAUX TYPES DE SOL

Les couvertures pédologiques sont faites d'horizons qui se superposent verticalement et se relaient latéralement. Pour décrire une couverture pédologique, il faut en reconnaître les horizons⁴⁰ ainsi que leurs relations verticales⁴¹ et latérales⁴².

● La formation des horizons

Les dynamiques qui conduisent à la formation des horizons pédologiques sont le résultat de quatre types de mécanismes, que nous décrirons dans ce chapitre :

- > des mécanismes d'altération des roches et de leurs constituants ;
- > des mécanismes biologiques et d'accumulation de matières organiques ;
- > des mécanismes de libération, de migration puis d'accumulation des constituants résultant des mécanismes d'altération et d'évolution des matières organiques ;
- > des mécanismes d'arrangement et d'agrégation des constituants issus de l'altération puis mis en place par les migrations.

● L'altération des roches et des minéraux

Les sols se forment à partir des roches par altération de celles-ci et de leurs minéraux. L'altération correspond à :

- > *la désagrégation des roches* : il s'agit de phénomènes de fissuration, de séparation les uns des autres des minéraux constitutifs des roches ; une porosité nouvelle prend naissance ;
- > *la dissolution et l'entraînement par les eaux des constituants des roches* : tous les constituants sont plus ou moins solubles. Parmi les constituants les plus fréquents dans les roches, les plus rapidement solubles sont les calcaires, les moins rapidement solubles étant les hydroxydes de fer et les hydroxydes d'aluminium. Les silicates (argiles, quartz) se dissolvent plus vite qu'on ne le pense en général, surtout dans les régions chaudes et humides : au cours de la transformation d'une roche en sol, il y a toujours perte importante de silice. Au total le matériau sol, qui naît de ces phénomènes de dissolution et d'entraînement vers les nappes phréatiques et les rivières des éléments dissous, est beaucoup plus poreux et beaucoup moins dense que la roche d'origine : on passe d'une densité voisine de 2,65 (roche) à une densité de l'ordre de 1,5 (sol) ;
- > *la genèse de minéraux nouveaux* : les minéraux appauvris par l'hydrolyse se transforment. Une partie des éléments dissous par l'hydrolyse se recombine et cristallise au lieu d'être entraînée vers les nappes et les rivières. Le tout donne naissance à des minéraux nouveaux dits minéraux secondaires⁴³. Les principaux minéraux secondaires des sols sont des argiles⁴⁴, des oxydes et hydroxydes de fer ou d'aluminium, de la calcite, du gypse, la taille de ces minéraux étant toujours très fine⁴⁵.

40 Couleurs, agrégats, porosités, traits, solidités.

41 Superpositions.

42 Séquences.

43 Par opposition aux minéraux des roches dits primaires.

44 Illites, vermiculites, montmorillonites, kaolinites, ...

45 Inférieure à 5 μ , très souvent inférieure à 2 μ .

L'orientation et la vitesse des dynamiques d'altération sont fonction des conditions hydriques, des conditions de température à l'intérieur des sols, des activités biologiques animales et végétales sur et dans les sols, des matières organiques se formant dans les sols. Les altérations varient donc beaucoup selon les situations climatiques et topographiques, selon les roches, selon les activités humaines. Ainsi s'explique une partie de la diversité pédologique, aux échelles locales et continentales.

Les principaux effets de l'altération

- elle ameublir les matériaux des roches, facilitant ainsi le développement de la vie ;
- elle affine et façonne les particules issues des roches : il y a ainsi genèse de galets, de graviers, de sables et surtout de particules limoneuses et argileuses qui vont constituer le complexe adsorbant du sol ;
- elle libère les constituants contenus dans les roches : cations et anions, hydroxydes, carbonates, sels, argiles ; une partie de ces constituants⁴⁶, stockée par le complexe adsorbant, est réutilisée par les plantes au fur et à mesure de leurs besoins nutritifs.

● Les êtres vivants et les matières organiques

La vie est moteur de la formation des horizons pédologiques.

● *Les êtres vivants, végétaux et animaux*

Ils creusent des galeries⁴⁷, donc fabriquent les porosités. Ils lient des particules entre elles, donc fabriquent des agrégats et des traits pédologiques. Ils dissolvent des minéraux et provoquent la formation de nouveaux minéraux : calcite, hydroxydes, argiles.

● *Les matières organiques*

Elles se décomposent plus ou moins vite au sein du sol sous l'effet de mécanismes chimiques et biologiques. Avant de disparaître, les matières organiques s'accumulent, principalement dans les couches superficielles. Elles peuvent cependant migrer profondément dans les sols : il en existe toujours un peu sur toute l'épaisseur du sol, jusqu'au contact avec la roche-mère.

L'expression *matière organique* désigne différents types de composés carbonés et azotés. On les distingue selon leur facilité à se minéraliser ou à former des complexes stables avec la fraction argileuse, selon leur caractère plus ou moins acide, etc. Dans toutes les couvertures pédologiques, les matières organiques jouent des fonctions importantes :

- > elles participent de l'altération des roches et des minéraux ;
- > elles facilitent ou retardent, selon les cas, la migration des constituants ;
- > elles facilitent l'agrégation des constituants et la porosité des assemblages ;
- > elles sont sources d'aliments pour les plantes, elles retiennent, puis redonnent aux plantes, l'eau et les éléments fertilisants.

46 Calcium, magnésium, potassium, sodium, phosphore, fer.

47 Racines, nématodes, vers de terre, fourmis, termites, taupes, renards.

● La libération, la migration et l'accumulation des constituants

Les produits de l'altération des roches et des activités biologiques sont l'objet, dès leur naissance, de phénomènes migratoires, au sein de la couverture pédologique, puis, pour certains d'entre eux, hors de la couverture pédologique :

- > mouvements de particules solides : par activités biologiques, par gravité au sein des porosités, par entraînements hydriques interne et externe (érosion), par mouvements de masse liés à des changements de volume⁴⁸ ;
- > mouvements sous forme soluble, faisant suite à l'hydrolyse et à la solubilisation ou à la complexation par des matières organiques.

La plupart de ces mouvements se font verticalement⁴⁹ ou latéralement⁵⁰, sur des distances qui varient du micron à la centaine de mètres. Les migrations sont facilitées par :

- > la finesse des particules : les argiles migrent beaucoup plus facilement que les limons et les sables ;
- > la dispersabilité des particules : pour les particules argileuses, la présence, sur leur complexe adsorbant, d'ions monovalents (H^+ , Na^+) facilite leur dispersion donc leur migration (cas des milieux acides ou très basiques) ; au contraire, la présence d'ions bivalents (Ca^{++} , Mg^{++} : cas des milieux neutres ou légèrement basiques) ou trivalents (Al^{+++} : cas des milieux très acides) gêne leur dispersion donc leur migration ;
- > la solubilité des constituants : les carbonates migrent plus facilement que les silicates, lesquels migrent plus facilement que les hydroxydes⁵¹ ;
- > la taille et la morphologie des vides.

Les principaux effets des migrations

Au total, les migrations ont pour effet de redistribuer, au sein des couvertures pédologiques, les constituants créés par l'altération. Il en résulte la genèse de volumes appauvris en un ou plusieurs constituants, ainsi que la genèse de volumes enrichis : enrichissement relatif, du fait du départ d'autres éléments, ou enrichissement absolu par accumulation d'un ou plusieurs constituants.

● Les étapes de la différenciation des horizons

Au cours de l'histoire de la formation et du développement d'une couverture pédologique, les horizons prennent naissance, les uns après les autres ou conjointement, selon un ordre chronologique qui n'est pas quelconque.

48 Conséquences de la présence d'argiles gonflantes.

49 Du haut vers le bas sous l'effet de la gravité ou des actions biologiques ou du bas vers le haut sous l'effet de la capillarité ou des actions biologiques.

50 Du haut vers le bas des versants, sous l'effet de la gravité, de la capillarité et des actions biologiques.

51 Sauf si ces derniers sont réduits par excès d'eau dans la porosité, ou complexés par des matières organiques.

● La première étape

Les mécanismes d'altération et les dynamiques biologiques et d'accumulation de matières organiques fonctionnent ensemble. Deux types d'horizons prennent progressivement naissance :

- > en surface, *des horizons organiques O⁵²*, et/ou *des horizons organo-minéraux A* à structure pédologique⁵³ ;
- > en profondeur, *des horizons d'altération C*, au sein desquels *la structure lithologique de la roche-mère est encore en place*⁵⁴.

Au terme de cette première étape, l'évolution de la couverture pédologique est encore relativement peu marquée : on dira que la couverture pédologique formée est peu différenciée.

● La deuxième étape

Les mécanismes d'altération s'accroissant, un nouvel horizon, ou groupe d'horizons, prend naissance entre les horizons A et C : il s'agit d'horizons d'altération au sein desquels l'isovolume et l'essentiel des structures lithologiques ont disparu ; les structures dominantes sont pédologiques. Ce sont *des horizons d'altération S* à structures pédologiques.

Au sein de ces horizons S, les mécanismes d'accumulation de constituants peuvent donner naissance à des volumes ou à des horizons illuviaux, concernant des minéraux se déplaçant relativement facilement.

Au cours de cette deuxième étape, les horizons O, A et C continuent à se former et à évoluer.

Au terme de cette deuxième étape, l'évolution de la couverture pédologique est réelle, significative ; l'horizon S témoigne d'un fort développement de l'altération, ainsi que des structures proprement pédologiques, bien distinctes de celles de la roche-mère : on dira que le sol formé est moyennement différencié.

Parmi les horizons S, l'horizon Sk des sols dits ferrallitiques occupe une place particulière. En effet, en milieu tropical humide, l'hydrolyse des minéraux et la lixiviation des éléments libérés par cette hydrolyse sont telles que les produits résiduels de l'altération sont du quartz⁵⁵, des oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium⁵⁶, des minéraux argileux pauvres en silice⁵⁷.

Les horizons Sk sont souvent très épais (plusieurs mètres). Morphologiquement, ils se reconnaissent par leur microstructure grumeleuse qui témoigne, à la fois, de l'association fer-kaolinite et d'un pH très acide (d'où présence d'Al⁺⁺⁺ sur le complexe adsorbant).

Fréquemment on voit se différencier, au sein des horizons Sk, des horizons d'accumulation de fer et d'aluminium (nodules, carapaces, cuirasses) (Bo).

52 Accumulation superficielle de matières organiques = litières.

53 Altération + activité biologique + accumulation de matières organiques + départ de constituants + agrégation.

54 L'horizon C est isovolume par rapport à la roche dont il provient par altération.

55 Il s'agit d'une partie du quartz de la roche-mère, ayant résisté à la dissolution.

56 Peu solubles, ils résistent à l'altération.

57 Principalement de la kaolinite, seule argile qui puisse se néoformer après la lixiviation de toutes les bases et d'une grande partie de la silice qui étaient présentes dans les roches-mères ; pratiquement toute l'argile des horizons Sk est de la kaolinite néoformée.

● La troisième étape

Les mécanismes d'hydrolyse, de lixiviation, d'entraînement particulière, de genèse de minéraux secondaires, s'accroissent au sein des horizons *A*, *S* et *C*. Il en résulte la naissance et le développement de deux types d'horizons :

- > *des horizons éluviaux E* : ce sont des horizons appauvris en particules de taille $< 2\mu$ et en minéraux argileux ; ces appauvrissements argileux sont toujours précédés d'appauvrissements en éléments plus solubles (chlorures, sulfates, carbonates) ; ils sont souvent accompagnés d'appauvrissements en hydroxydes (Fe, Al) ;
- > *des horizons illuviaux B* : ce sont des horizons enrichis en particules argileuses et en minéraux argileux ; mais il peut aussi s'agir, selon les cas, d'accumulations d'hydroxydes (Fe, Al), et/ou de matières organiques, et/ou de silice, et/ou de calcaire, et/ou de gypse, et/ou de sels solubles. Au sein de ces horizons illuviaux, l'accumulation d'un constituant peut avoir trois origines : accumulation absolue par migration de constituants à partir d'un autre horizon, accumulation absolue par altération des constituants, accumulation relative par départ des constituants plus solubles.

Au cours de cette troisième étape, les horizons *O*, *A*, *S* et *C* continuent à se former et à évoluer.

*Au terme de cette troisième étape, l'évolution de la couverture pédologique est très marquée : on dira que le sol formé est très différencié*⁵⁸.

Les modifications de la différenciation de la couverture pédologique

À n'importe quel moment de l'évolution d'une couverture pédologique, trois groupes de mécanismes peuvent venir compliquer sa différenciation :

- l'excès d'eau, temporaire ou permanent, transforme n'importe quel horizon préexistant en horizon hydromorphe, qualifié de *g* s'il s'agit d'excès d'eau temporaire, de *G* quand l'excès d'eau est permanent ;
- l'intervention humaine, en particulier l'intervention agricole, modifie les horizons pré-existants, principalement les horizons superficiels, donnant naissance à des horizons anthropiques *Ap* ;
- l'érosion arrache ou enterre les horizons superficiels.

● Les types d'horizons et leurs superpositions

Nous présentons ici, depuis la surface jusqu'à la roche-mère, la morphologie des neuf grands types d'horizons que l'on pourra être amené à reconnaître sur le terrain. Les combinaisons évolutives, verticales et latérales, de ces neuf horizons sont à la base de toute la diversité existante.

⁵⁸ Une couverture pédologique très différenciée est plus évoluée qu'une couverture peu différenciée ; mais ceci ne signifie pas qu'elle est plus vieille. La vitesse d'évolution d'une couverture pédologique et la différenciation maximale qu'elle peut atteindre sont fonction de tous les facteurs : climat, végétation, pente, roche, homme. Humidité, chaleur, acidité et perméabilité des roches, facilitent une différenciation rapide ; aridité, faible porosité des roches, richesse en calcaire du milieu, pente forte, ralentissent la différenciation.

● La morphologie des types d'horizons

● Les horizons organiques : O

Les horizons organiques (ou litière), que l'on ne trouve en général que sous végétation arborée, résultent du dépôt à la surface du sol de matières végétales aériennes mortes : feuilles, brindilles, etc., auxquelles peuvent s'ajouter des débris d'origine animale. Ces apports sont plus ou moins rapidement transformés en matière organique, par diverses actions biologiques végétales et animales (bactéries, champignons, insectes), puis incorporées dans l'horizon *A* sous-jacent.

Les horizons *O* sont posés sur le sol ; on mesure leur épaisseur du bas de l'horizon vers le haut.

Sur les sols saturés en eau pendant de longues périodes annuelles, les horizons *O* peuvent devenir très épais : plusieurs dizaines de centimètres, voire plus, avec des compositions végétales originales, liées à l'excès d'eau ; des tourbes dénommées horizons *H*, prennent ainsi naissance.

● Les horizons organo-minéraux : A

Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- > ce sont des horizons de surface (éventuellement sous un horizon *O*) ; ils sont éventuellement modifiés par l'action de l'homme (dans ce cas on les nomme *A_p* : voir plus loin) ; leur épaisseur est en général de l'ordre de quelques dizaines de centimètres ;
- > ils sont plus riches en matière organique que les horizons sous-jacents ; leur teneur en matière organique est très variable : de 1 à 20 %, selon les régions climatiques, les couverts végétaux, les roches, les situations topographiques, les influences anthropiques ;
- > ils sont de couleur plus sombre que les horizons sous-jacents ;
- > ils ont une structure fragmentaire arrondie, largement influencée par la matière organique et par l'activité biologique ; en surface, la structure peut être lamellaire sur quelques millimètres d'épaisseur ;
- > on note la présence abondante de pédotubules, dus à l'activité biologique ;
- > ils sont généralement appauvris en constituants minéraux : argiles, carbonates, hydroxydes ;
- > ils sont souvent enrichis en sels solubles et, sur le complexe adsorbant, en cations et en anions.

● Les horizons éluviaux : E

Les horizons éluviaux *E* sont des horizons nettement appauvris en particules de dimension argileuse ($< 2 \mu$) et en minéraux argileux : cet appauvrissement est suffisant pour qu'il soit morphologiquement visible sur le terrain. Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- > ils sont, en général, proches de la surface du sol, sous un horizon *A*. On peut aussi les trouver en profondeur, juste au-dessus, voire même à l'intérieur, de l'horizon *C*. Leur épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres ;

- > ils sont appauvris, non seulement en particules et en minéraux argileux, mais aussi en sels, en carbonates, en hydroxydes ; en général, l'appauvrissement en sels et en carbonates a précédé l'appauvrissement en éléments argileux, l'appauvrissement en hydroxydes étant le plus souvent conjoint à celui en éléments argileux. En conséquence des appauvrissements, ils connaissent une concentration corrélative en constituants migrant moins facilement : limons, sables, minéraux peu altérables ;
- > leur couleur est toujours plus claire que celle de l'horizon sous-jacent (qui est, le plus souvent, un horizon *B*) ;
- > la structure est soit continue (massive ou particulaire), soit fragmentaire peu développée et fragile ;
- > il y a présence éventuelle de revêtements sableux résiduels du départ des particules argileuses : l'argile étant partie, le sable résiduel se dépose sur les surfaces horizontales, en particulier sur les parties supérieures des graviers et cailloux, formant comme des coiffes.

Le complexe adsorbant des horizons *E* est, normalement, partiellement ou totalement désaturé en cations basiques (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) ; leur pH est donc acide.

● **Les horizons anthropiques : *Ap***

Les horizons *Ap* sont des horizons superficiels dont la morphologie est partiellement le résultat du travail des agriculteurs : travail du sol, fertilisation, irrigation, successions culturales. Ils proviennent de la modification d'horizons *A*, *E*, parfois aussi *B* ou *S*. Ces modifications portent principalement sur les couleurs, les agrégations, les porosités, les traits pédologiques, les solidités des agrégats, mais aussi sur les constituants, organiques et minéraux, les propriétés et les comportements physico-chimiques et biologiques.

Souvent, la différenciation morphologique, conséquence de l'action de l'agriculteur, est telle que ce sont plusieurs horizons *Ap* qui prennent naissance : *Ap₁*, *Ap₂*, etc. que l'on distingue facilement par les couleurs, agrégats, porosités.

À signaler enfin les sols complètement construits par les hommes ; c'est le cas, par exemple, des terrasses, des sols reconstitués après exploitation d'une carrière, etc.

● **Les horizons illuviaux : *B***

Les horizons *B* sont des horizons enrichis en constituants, minéraux ou organiques, une partie ou la totalité de l'enrichissement étant la conséquence d'une migration verticale ou latérale de matière. On ne parle d'horizon *B* que si l'on a des preuves morphologiques qu'une partie de l'accumulation est le résultat d'une migration, la preuve la plus sûre étant la présence de traits pédologiques d'accumulation : revêtements, nodules, bandes.

Les horizons *B* sont en général situés dans la partie moyenne du sol. Leur couleur est fonction de l'élément accumulé ; il y a souvent des taches de couleur. L'agrégation y est généralement fragmentaire.

Les principaux types d'horizons B

Ils sont les suivants : Bt = argile ; Bo = hydroxydes (Fe, Al, Mn) ; Bh = matière organique ; Bp = produits amorphes (matières organiques + Al + Fe) ; Bsi = silice ; Bca = calcaire ; Bcs = gypse ; Bsa = sels solubles.

● Les horizons d'altération à structures pédologiques : S

Il s'agit d'horizons :

- > à structure pédologique fragmentaire ;
- > appauvris, par rapport à la roche-mère, en constituants solubles : sels, carbonates... ;
- > enrichis, par rapport à la roche-mère, en constituants issus de l'altération : sables, limons, argiles, hydroxydes ;
- > sans traits pédologiques d'accumulation ;
- > éventuellement très riches en argiles d'altération⁵⁹.

Ils sont en contact direct soit avec la roche-mère, soit plus souvent avec un horizon d'altération C.

Les horizons Sk des sols ferrallitiques sont fortement appauvris en silice, avec néoformation de kaolinite ; ils peuvent être très épais.

● Les horizons d'altération à structures lithologiques : C

L'horizon C se situe à la base du sol, en continuité avec la roche-mère qui lui donne naissance. L'altération, par rapport à la roche-mère, se reconnaît principalement par une porosité plus forte, donc par une densité plus faible, et par les transformations minéralogiques. Cependant, ces transformations ne modifient pas l'essentiel de la structure lithologique qui reste bien visible et dominante.

À l'intérieur des horizons C, il peut y avoir présence :

- > soit de traits pédologiques d'accumulation : d'argile, d'hydroxydes, de matière organique, de silice, de calcaire, de gypse, de sels solubles ; on parle alors de *Ct*, *Co*, *Ch*, *Csi*, *Cca*, *Ccs*, *Csa* ;
- > soit de traits pédologiques d'éluviation de particules argileuses : cela peut aller jusqu'à la formation d'un horizon E au sein de l'horizon C.

● Les horizons hydromorphes : G et g

On distingue deux types principaux d'horizons hydromorphes :

- > ceux dont la morphologie résulte d'un excès d'eau presque permanent : on les appelle des *gley* et on les dénomme G ; leur couleur est dominée par le gris, le vert, le bleu ;
- > ceux dont la morphologie résulte d'un excès d'eau temporaire : on parle de *pseudogley* et on attribue la lettre g à l'horizon concerné.

⁵⁹ Horizons vertiques, par exemple.

L'hydromorphie est un processus secondaire qui peut se surimposer sur n'importe quelle morphologie pédologique pré-existante. Si cette hydromorphie est forte et permanente, elle efface la morphologie pré-existante : d'où l'horizon G ; si elle n'est pas dominante, la morphologie est simplement marquée par des traits d'hydromorphie tout en conservant tout ou partie des traits pré-existants : on parle alors de *Ag*, *Eg*, *Btg*, *Sg*, *Cg*, etc.

● Les roches-mères : *R* et *M*

Du point de vue du pédologue, les roches se décrivent en fonction de leur pénétrabilité par les racines avant altération et en fonction de leurs produits d'altération. On distingue ainsi les roches en terme de :

- > *dureté* : il y a les roches dures *R* (granites, grès, calcaires...) et les roches meubles *M* (sables, loess, marnes...) ;
- > *fissuration* : elle facilite la pénétration des systèmes radiculaires ; le long des fissures, on peut trouver, profondément, des figures d'altération de la roche et des figures d'accumulation.
- > *altérabilité* : facilité et vitesse d'altération ;
- > *texture des matériaux résultant de l'altération* : il y a, par exemple, des roches qui s'altèrent en donnant des matériaux plutôt sableux et filtrants (les grès par exemple) et des roches qui s'altèrent en donnant des matériaux plutôt argileux et peu perméables (certaines roches éruptives, par exemple) ;
- > *acidité, alcalinité, teneur en carbonates des matériaux résultant de l'altération* : cela dépend, à la fois, de la composition minéralogique de la roche et des conditions de son altération.

Il est évident que le produit d'altération d'une roche dépend non seulement de la roche elle-même mais aussi des conditions bio-climatiques, passées et actuelles.

● Les superpositions d'horizons

Cinq types de superpositions des horizons

Les sols peu différenciés : la succession des horizons est de type : A - R ou A - C - R

Les sols moyennement différenciés : la succession des horizons est de type : A - S - R ou A - S - C - R

Les sols moyennement différenciés ferrallitiques : la succession des horizons est de type : A - Sk - C - R ou A - Sk - Bo - C - R

Sk étant un horizon d'altération à structure pédologique au sein duquel le minéral argileux pratiquement unique est la kaolinite. Sk peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

Les sols très différenciés lessivés : la succession des horizons est de type : A - E - Bt - C - R ou A - E - Bt - S - C - R ou A - E - Bt - Sk - C - R ou A - E - Bt - Sk - Bo - C - R

Les horizons Bt ou/et C peuvent être absents.

Les sols très différenciés podzoliques : la succession des horizons est de type : A - E - Bh - Bp - C - R
Entre Bp et C on peut trouver un E, et/ou un Bt, et/ou un S, et/ou un Sk, et/ou un Bo.

Dans tous les cas : R peut être M.

La superposition peut être compliquée par la présence :

- > d'un horizon *O* en surface ;
- > d'un horizon *E* en profondeur, juste au-dessus ou au sein de l'horizon *C* ;
- > d'accumulations d'argile au sein de l'horizon *C* (*Ct*) ;
- > d'accumulations de calcaire, et/ou de gypse, et/ou de sels, dans les horizons *C*, *S*, *Bt* (voire dans les horizons *A* pour les sels solubles) ;
- > de phénomènes d'hydromorphie (*G* ou *g*) ;
- > d'un ou plusieurs horizons *Ap*.

Au cours de l'histoire d'une couverture pédologique, l'ordre et la vitesse d'apparition des superpositions d'horizons sont variables selon les conditions de climat et de roche. On peut dire, succinctement, que l'ordre logique de succession historique des superpositions d'horizons est le suivant : peu différencié, puis moyennement différencié, puis très différencié lessivé, puis très différencié podzolique.

La vitesse de l'évolution des sols, donc la vitesse à laquelle les horizons apparaissent et s'épaississent, est d'autant plus grande que le climat est plus humide et plus chaud, que les roches et leurs altérations sont plus perméables et plus acides, que les pentes, et donc les érosions, sont moins fortes. Par ailleurs, les climats tropicaux humides favorisent, sur toutes les roches, le développement d'horizons *Sk* au détriment des horizons *S*. Il en résulte les grandes distributions pédogéographiques suivantes :

- > *les régions arides et semi-arides*, de climat tropical ou méditerranéen, privilégient les sols peu et moyennement différenciés, et ceci d'autant plus que les roches sont plus calcaires et moins perméables et que les reliefs sont plus accentués (ce qui est fréquent dans les régions méditerranéennes) ;
- > *les régions tropicales humides* privilégient les sols moyennement différenciés ferrallitiques, sols qui peuvent atteindre de très grandes épaisseurs (plusieurs dizaines de mètres). Au sommet des horizons *Sk*, la suite de l'évolution est le développement de la différenciation lessivée et/ou de la différenciation podzolique ;
- > *dans les régions tempérées et continentales froides*, la vitesse de passage vers les sols très différenciés (lessivés puis/ou podzoliques) dépend des roches : elle est rapide sur les roches acides et/ou perméables ; elle est ralentie, voire impossible, sur les roches calcaires et calcaires.

Du point de vue de la fertilité, actuelle et potentielle, des sols :

- > les sols moyennement différenciés, surtout quand ils se développent à partir de roches basiques ou calcaires, sont les meilleurs, tant sur le plan des structures que du point de vue chimique : ces sols expriment le maximum de la potentialité de la rencontre d'une roche et de la vie. Avant⁶⁰, l'altération peut rester insuffisante pour libérer toutes les potentialités de la roche ; après, c'est le lessivage ou la podzolisation qui s'installent : la fertilité chute brutalement. Bien entendu, la fertilité d'un sol moyennement différencié dépend beaucoup de la roche : on n'aura jamais sur un grès acide un sol aussi riche que sur un basalte basique ;
- > les sols très différenciés podzoliques, qu'ils soient des régions tempérées et froides ou des régions tropicales humides, sont de loin les sols les plus pauvres du monde ;

⁶⁰ Au stade sol peu différencié.

- > les sols moyennement différenciés ferrallitiques, tant qu'ils ne sont pas atteints à leur sommet par le lessivage et/ou la podzolisation, sont des sols potentiellement fertiles : ils sont très bien structurés ; la présence de la kaolinite comme unique argile réduit de beaucoup la capacité d'échange, mais une politique organique et minérale bien calculée donne, on le sait, d'excellents résultats tant que la structure en agrégats et la porosité sont respectées ;
- > la fertilité des sols très différenciés lessivés est moyenne à mauvaise. Selon l'importance de l'horizon E⁶¹, cette fertilité peut être plus ou moins facilement améliorée.

Les potentialités des diverses régions du monde

Les régions arides et semi-arides, tropicales et méditerranéennes, ainsi que les régions continentales froides, où dominent les sols moyennement différenciés, possèdent les plus grandes richesses en sols. Le problème majeur y est souvent celui de l'eau. Mais avec de l'eau, tout est possible.

Les régions tempérées froides sont doublement gênées d'une part par le fort développement des sols très différenciés lessivés et podzoliques, d'autre part par le froid. La fertilité de l'ensemble est faible.

Les régions tempérées, où se côtoient des sols très différenciés lessivés et des sols moyennement différenciés, sont de fertilité moyenne.

Enfin, les régions tropicales humides et sub-humides, domaine des sols moyennement différenciés ferrallitiques, sont de fertilité potentielle variable en fonction du développement ou non des phénomènes de lessivage et de podzolisation. Par ailleurs, dans les zones les moins humides de ces régions, les sols moyennement différenciés calciques peuvent être fréquents : la fertilité y est alors très bonne.

● Les systèmes pédologiques

Un système pédologique est une portion de couverture pédologique qui, par ses structures et par ses dynamiques, constitue une unité. C'est un volume de sol au sein duquel des horizons sont organisés entre eux, verticalement et latéralement, à l'échelle de l'unité de relief élémentaire : le versant, le plateau, le petit bassin versant, la colline, etc., échelle qui est celle de la plupart des systèmes pédologiques. Les structures qui constituent ces systèmes se modifient principalement en fonction de quatre facteurs : la roche ; le relief ; l'âge des surfaces ; l'occupation, passée et actuelle, du sol : forêt, steppe, faune, agriculture, urbanisation.

En ne faisant varier, à la fois, qu'un seul de ces quatre facteurs⁶², on peut distinguer, à l'échelle de l'unité de relief élémentaire, quatre types principaux de distributions latérales des structures pédologiques⁶³ :

- > *les lithoséquences* : les variations latérales des structures sont liées à des variations des roches ;
- > *les toposéquences* : les variations latérales des structures sont liées à la topographie : forme des pentes, position sur la pente ;

61 Épaisseur, degré d'appauvrissement en argile, brutalité de sa transition avec l'horizon Bt ou S sous-jacent.

62 Les trois autres étant supposés rester constants.

63 Organisations élémentaires, assemblages, horizons.

- > *les chronoséquences* : les variations latérales des structures sont liées à l'âge des surfaces topographiques ou à l'âge des roches⁶⁴, donc à l'âge du début de l'évolution pédologique observable aujourd'hui ;
- > *les bioséquences* : les variations latérales des structures sont liées aux activités humaines. En effet, dans les milieux non anthropisés, l'activité biologique ne joue jamais seule : elle n'est pas un facteur principal, explicatif, des variations latérales des structures de la couverture pédologique ; elle joue en même temps que les roches, le relief, le temps, en relation de dépendance avec ces trois facteurs. En revanche, quand l'homme intervient en supprimant une forêt pour la remplacer par une prairie, en remplaçant une forêt naturelle par une forêt d'eucalyptus, en intensifiant les systèmes de production agricole, en apportant des quantités importantes de matière organique, etc., il crée des variations latérales nouvelles, directement en conséquence des variations biologiques qu'il provoque.

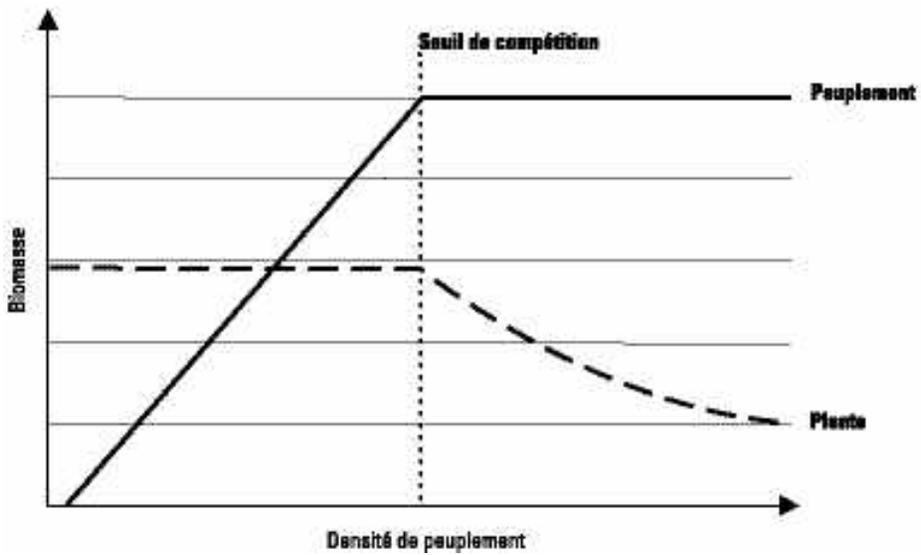
64 Cas particulier des roches de formation récente : alluvions, dunes, coulées volcaniques.

Le fonctionnement d'un peuplement végétal cultivé

À partir d'une contribution de Y. Crozat (ESA Angers) et F. Levrault (ESA Angers)

QU'EST-CE QU'UN PEUPEMENT VÉGÉTAL ?

Le peuplement végétal est constitué d'une population de plantes (mono spécifique ou plurispécifique) soumise à des conditions de milieu identiques et concourant à un objectif de production. Quelle que soit la nature de cet objectif, l'agriculteur crée un groupe d'individus qui, du fait de leur proximité, ont chacun un comportement différent de celui qu'ils auraient isolément. Par exemple, lorsque la densité de peuplement s'accroît au-delà d'un certain seuil, la biomasse de chaque plante diminue alors que celle du peuplement se maintient à un niveau dépendant des potentialités du milieu. Cette compétition se manifeste aussi bien pour la lumière, que l'eau ou les éléments minéraux. En outre, elle évolue en nature et en intensité tout au long du cycle.



► Figure 1 : Effet de la densité de peuplement sur la biomasse du peuplement et la biomasse de chaque plante

Le peuplement végétal est une entité présentant à la fois des caractéristiques physiques¹ et des propriétés biologiques. En effet, les plantes évoluent au cours du temps selon un programme morphogénétique pré-établi et elles sont capables de réguler leurs échanges avec l'environnement. Grâce à la photosynthèse, le peuplement végétal convertit, avec l'aide de flux d'eau et de minéraux, de l'énergie lumineuse sous forme d'énergie chimique contenue dans la biomasse végétale. Le rendement de cette conversion est en général inférieur à 1 % sur un cycle de culture², parce que l'interception de la lumière par le peuplement n'est pas toujours maximale³, parce que la photosynthèse peut être limitée par de nombreux facteurs (CO₂, température...) et les maladies ou parasites engendrent des pertes supplémentaires.

● **La délimitation du système étudié**

Dans l'espace, le système *peuplement végétal* est délimité horizontalement et verticalement.

Horizontalement, c'est la parcelle, qui représente l'élément de base au sein duquel un peuplement végétal est constitué, soumis à des conditions de milieu identiques et objet de pratiques culturales concourant à un même objectif. C'est donc elle que l'agronome retient comme échelle pertinente d'étude du fonctionnement du peuplement végétal.

Verticalement, le système a comme limites les compartiments d'atmosphère et de sol que les plantes explorent. On définit ainsi les environnements aérien et souterrain immédiats.

● **Les interactions avec l'environnement**

L'existence de ces limites ne signifie pas l'isolement du système. En effet, celui-ci interagit en permanence avec l'extérieur, à savoir le climat et le sous-sol. Cette interaction est elle-même sous l'influence des pratiques culturales.

Le climat : l'agronome l'étudie au travers des variables intervenant sur la croissance et le développement des plantes, notamment le rayonnement, la température et les précipitations. Il influence l'environnement aérien immédiat et cet effet est variable selon l'état des plantes et du sol.

Le sous-sol : c'est la partie du sol hors d'atteinte des racines. Elle ne participe pas directement aux fonctions mécaniques et nutritives du sol, mais y contribue par circulation d'éléments minéraux et d'eau : drainage et remontées capillaires.

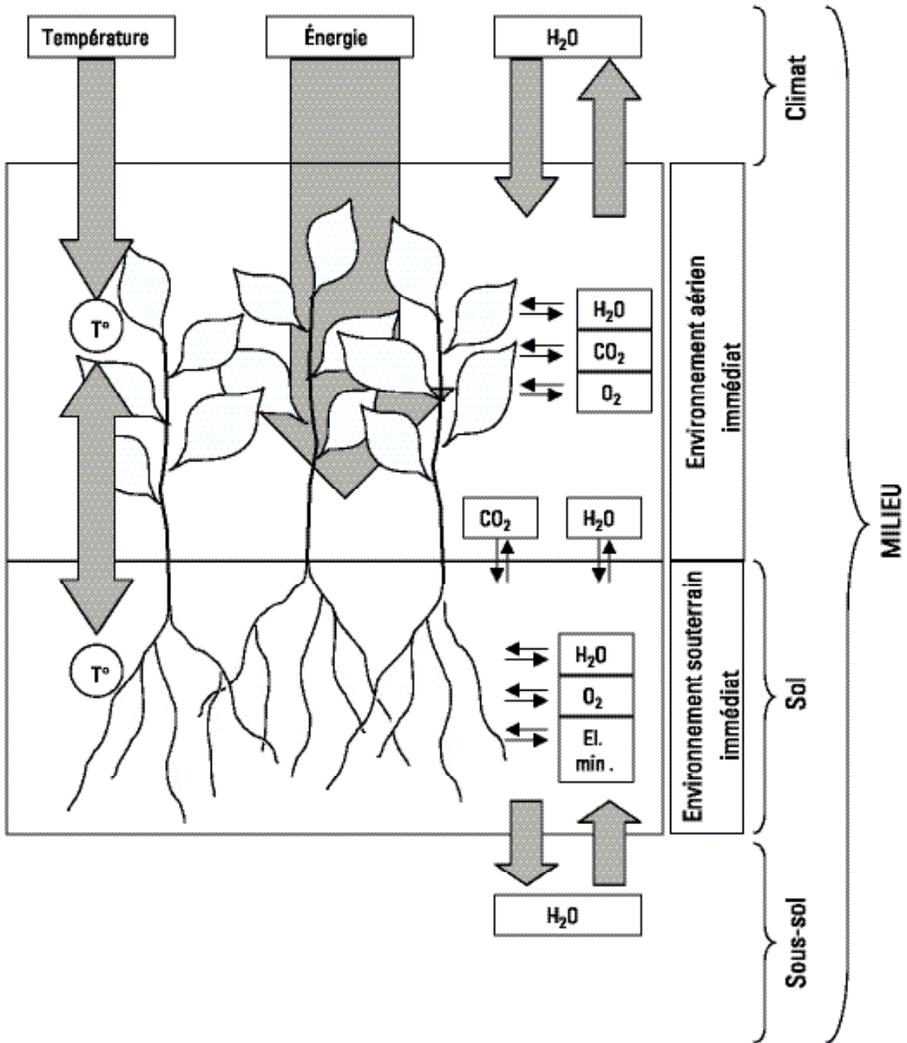
● **Les composantes du peuplement**

L'examen détaillé du système «peuplement végétal» permet d'en identifier les composantes, de comprendre les flux d'énergie et de matière.

1 D'architecture, de rugosité, de réflectance pour la lumière...

2 Dans les conditions optimales, l'efficacité de la photosynthèse ne dépasse pas 5 %.

3 Mise en place de l'indice foliaire.



► Figure 2 : Le système peuplement végétal (d'après Leterme, 1981)

Les feuilles, capteurs aériens, assurent la fixation du carbone atmosphérique et l'élaboration des assimilats. En tant que surfaces d'échange avec l'atmosphère (transpiration), elles interviennent sur les flux d'eau dans le système.

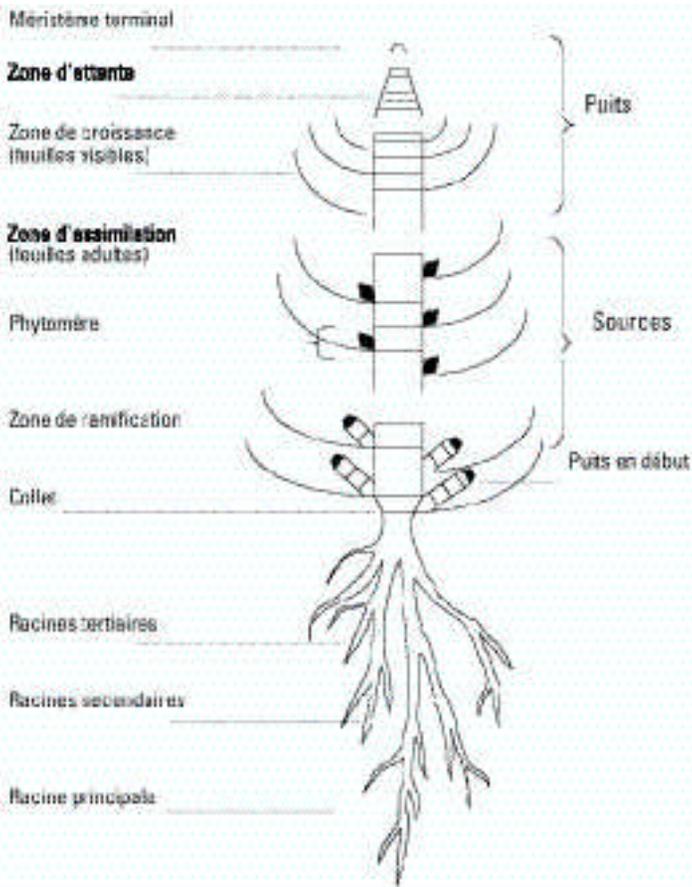
Les tiges, issues de l'élongation des entre-nœuds, conditionnent la disposition spatiale des capteurs aériens et organes reproducteurs et contiennent les vaisseaux pour le transport de la sève brute et de la sève élaborée.

Les racines, capteurs souterrains, permettent, au-delà de leur rôle d'ancrage, la capture des éléments minéraux et de l'eau indispensables au fonctionnement et à la croissance des organes.

Les organes reproducteurs ou de réserve constituent des organes d'accumulation, issus soit de la tubérisation de certains organes végétatifs, soit des inflorescences après fécondation.

LA MISE EN PLACE DES DIFFÉRENTS ORGANES

Le développement est l'ensemble des modifications qualitatives de la plante conduisant à l'apparition de nouveaux organes. Chaque organe est issu de trois phases successives : *l'induction* (capacité de la plante à le produire), *l'initiation* (différenciation et multiplication cellulaire) puis *la croissance* (élongation cellulaire). La germination est la première étape du développement de la plante. Par la suite, l'apparition des nouveaux organes résulte du fonctionnement des deux méristèmes radicaire et caulinaire de l'axe séminal. Le méristème caulinaire élabore une succession d'unités fonctionnelles appelées phytomères et comprenant⁴ une feuille, un (ou plusieurs) bourgeon(s) axillaire(s) et l'entre-nœud sous-jacent. Après l'émission d'un certain nombre de phytomères végétatifs, ceux-ci acquièrent le caractère reproducteur sous l'action combinée des conditions photo thermiques et des états internes du peuplement.



► Figure 3 : Organisation des axes de la plante : schéma des phytomères aériens et de la racine principale (d'après Fleury, 1994)

⁴ Au moins en potentialité.

Le temps qui s'écoule entre l'initiation de deux organes de même nature définit le plastochrone. Le phyllochrone correspond au temps entre l'apparition de deux organes. Chez la plupart des espèces, phyllochrone et plastochrone sont gouvernés par la température. C'est pourquoi le développement est généralement repéré en sommes de températures. Ces sommes sont exprimées par rapport à des bases correspondant aux seuils minimaux d'activité biologique ; par exemple 12° C pour le coton, 6° C pour le maïs.

Pour le développement reproducteur (ou la tubérisation), la variation de la durée du jour et de la nuit (photopériode) joue un rôle important chez certaines espèces. Les plantes de jours longs, comme le blé ou le colza, ne fleurissent qu'après un certain nombre de jours d'une durée supérieure à un seuil ; celles de jours courts, souvent d'origine tropicale, comme le maïs ou le sorgho, après un certain nombre de jours d'une durée inférieure à un seuil. Photopériode et température⁵ ont des effets combinés chez de nombreuses espèces, comme le blé. Ces besoins peuvent être plus ou moins stricts et les deux types se rencontrent chez une même espèce comme le soja.

Le repérage des périodes au cours desquelles les organes de même nature rentrent en croissance permet d'analyser l'offre (nombre et activité des capteurs) et la demande (nombre et âge des puits) en assimilats sur des périodes successives du cycle cultural.

LA CROISSANCE ET LE FONCTIONNEMENT DES ORGANES

La croissance est une variable quantitative : c'est l'augmentation de la biomasse. Elle dépend des facteurs⁶ et conditions⁷ de croissance du milieu.

● *Les capteurs aériens et la photosynthèse*

● À l'échelle de la feuille

La photosynthèse est le processus par lequel les plantes utilisent le gaz carbonique de l'atmosphère. La photosynthèse d'une feuille est tributaire des conditions de milieu et de leur incidence sur l'état de la plante.

La réponse de la photosynthèse nette à l'éclairement est la résultante de la photosynthèse brute⁸ et de la respiration. Chez les plantes en C3, vient s'ajouter une respiration photosensible correspondant à la fixation de l'oxygène par une enzyme de carboxylation. L'intensité lumineuse pour laquelle il y a équilibre entre fixation et respiration est appelée point de compensation. Une saturation de la photosynthèse nette apparaît pour des éclaircements élevés (Pmax).

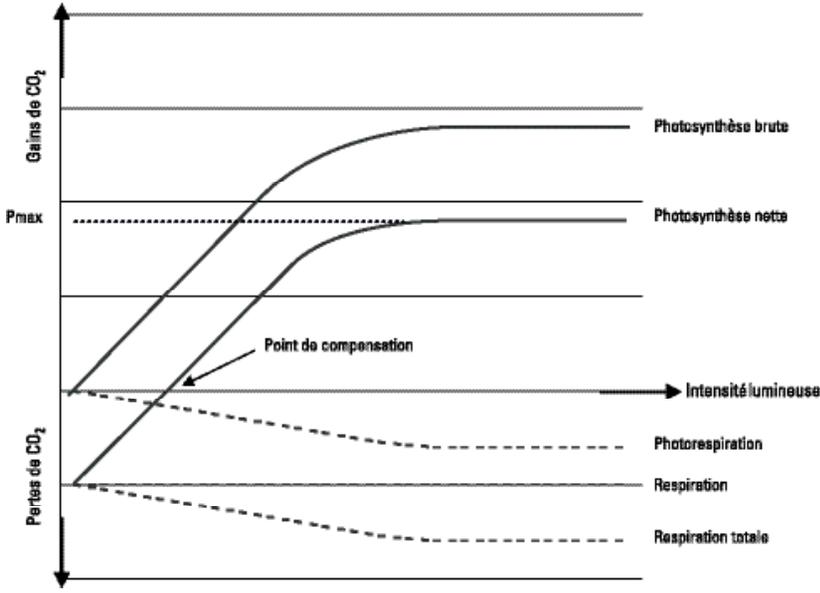
Chez les plantes en C4, la saturation s'observe pour des éclaircements plus élevés que pour celles en C3, et le Pmax est supérieur. Cette relation définit, pour chaque niveau d'éclairement, une activité photosynthétique potentielle qui sera elle même affectée par les conditions de milieu : température, alimentation hydrique, nutrition minérale.

5 Effet des basses températures.

6 Éléments du milieu intervenant dans la fabrication même de la matière sèche : rayonnement, CO₂, éléments minéraux.

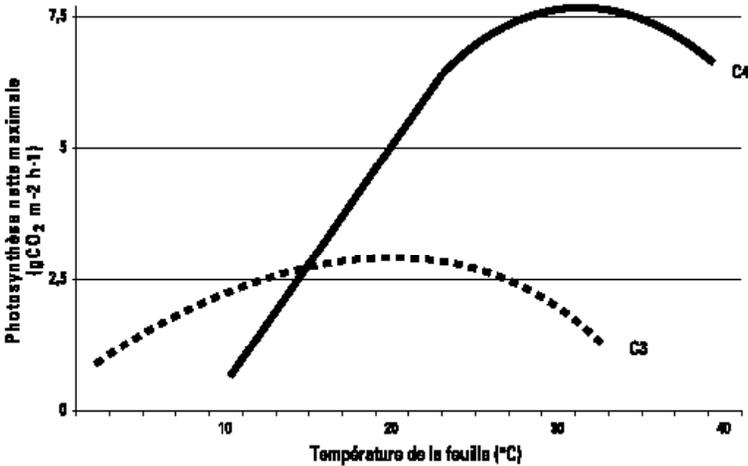
7 Caractéristiques du milieu influant sur le fonctionnement de la plante : eau, température, aération et structure du sol.

8 Quantité de CO₂ prélevée.



► Figure 4 : Réponse photosynthétique d'une feuille à l'éclairement

La température qui gouverne les vitesses des réactions enzymatiques a un effet très marqué sur la photosynthèse. La température optimale varie d'une espèce à l'autre avec une différence marquée entre plantes en C3 et en C4.

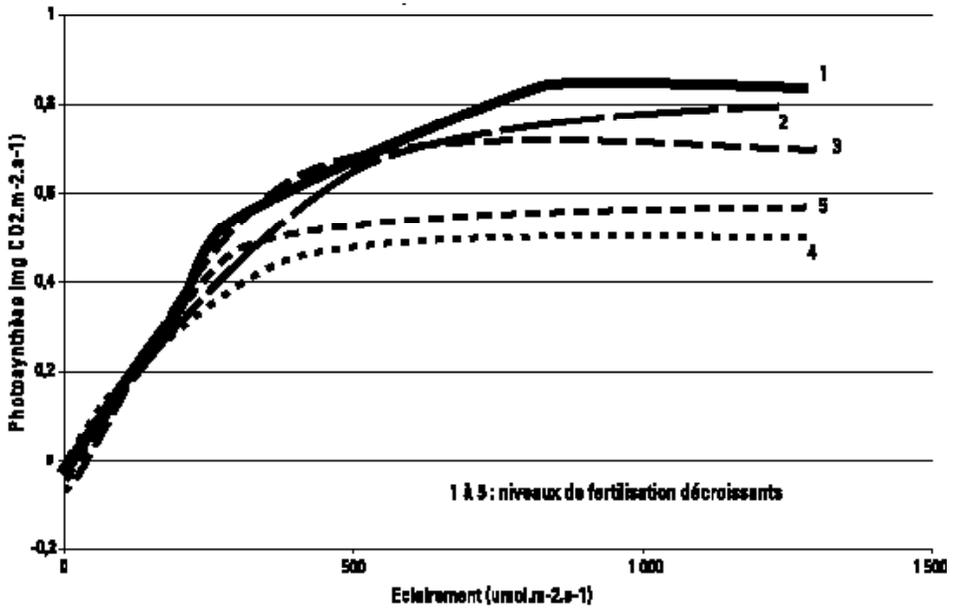


► Figure 5 : Influence de la température d'une feuille sur son activité photosynthétique à l'éclairement maximal : comparaison des plantes en C3 et en C4 (d'après de Wit et al, 1978)

À température fixée, le niveau de nutrition azotée de la feuille conditionne l'activité photosynthétique maximale en réponse à l'éclairement⁹, mais peu le rendement lumineux¹⁰.

⁹ Photosynthèse à rayonnement saturant.

¹⁰ Pente initiale de la relation photosynthèse-éclairement.



► Figure 6 : Effet de la nutrition azotée sur la réponse de la photosynthèse d'une feuille de fétuque à l'éclairement (d'après Gastal et Lemaire, 1997)

En présence d'une contrainte hydrique, l'activité photosynthétique est ralentie du fait d'une diminution parallèle de la conductance stomatique au CO_2 et de la fixation de CO_2 par la feuille.

● À l'échelle du peuplement

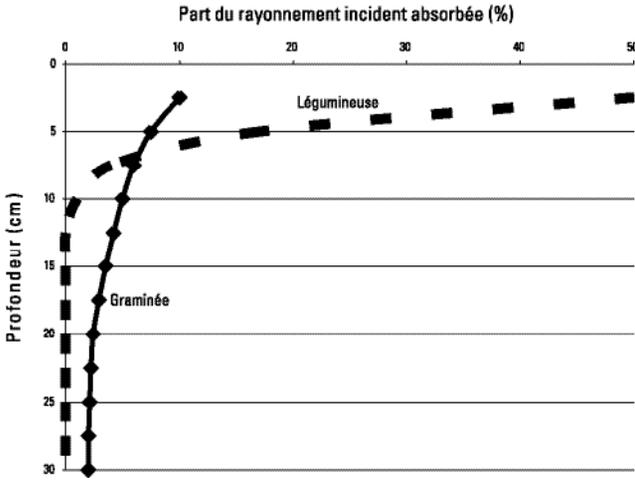
● L'indice foliaire (IF), architecture du peuplement et photosynthèse

L'indice foliaire¹¹ est le rapport de la surface de feuilles à la surface de sol correspondante¹². L'indice foliaire conditionne la capacité du peuplement à intercepter le rayonnement utile à la photosynthèse¹³. Il détermine aussi le pouvoir évapotranspirant du peuplement. L'absorption de rayonnement augmente au-delà de $\text{IF} = 1$, car l'absorption de la lumière visible par chaque couche de feuille est incomplète (environ 90 %). Selon la disposition spatiale des feuilles, l'absorption du rayonnement se répartit différemment sur la hauteur du peuplement végétal. Les couverts à feuilles dressées (graminées) mettent plus à contribution les étages inférieurs dans l'interception du rayonnement lumineux. Mais l'essentiel de l'activité photosynthétique reste cependant assuré par les étages foliaires supérieurs. L'obtention d'un indice foliaire trop élevé conduit à une respiration et une transpiration excessives, donc à un gaspillage des ressources. Ainsi, l'IF optimal diffère selon les espèces et leur port : environ 6 pour les plantes à port dressé comme le riz, et 3 à 4 pour les plantes à port étalé comme la pomme de terre.

11 Leaf Area Index en anglais.

12 Adimensionnel.

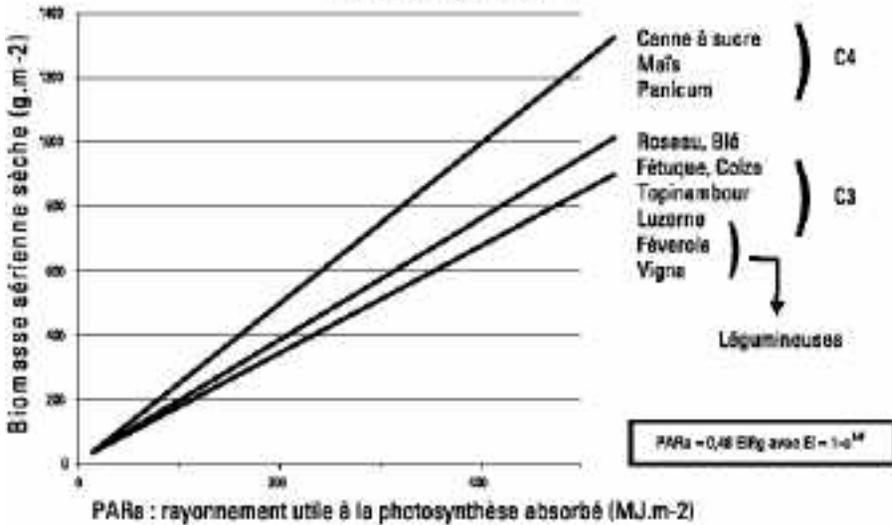
13 Donc le potentiel d'élaboration de biomasse durant la période de croissance.



► Figure 7 : Distribution verticale de l'absorption du rayonnement incident par deux couverts végétaux (d'après Monteith, 1966)

● **L'efficacité d'utilisation du rayonnement** ¹⁴

C'est l'efficacité de conversion du rayonnement absorbé en biomasse : g de matière sèche/MJ d'énergie absorbée. Deux usages en sont faits. D'une part, les valeurs mesurées pour différentes espèces cultivées déterminent leurs potentiels de production en fonction du type de photosynthèse et de l'insolation du lieu¹⁵. D'autre part, la comparaison du RUE observé au RUE théorique permet de déceler la présence éventuelle de facteurs ayant limité l'expression de ce potentiel.



► Figure 8 : Relation entre la biomasse aérienne produite et la somme du rayonnement utile à la photosynthèse absorbé par différentes cultures (d'après Gosse et al, 1986)

¹⁴ Radiation Use Efficiency.

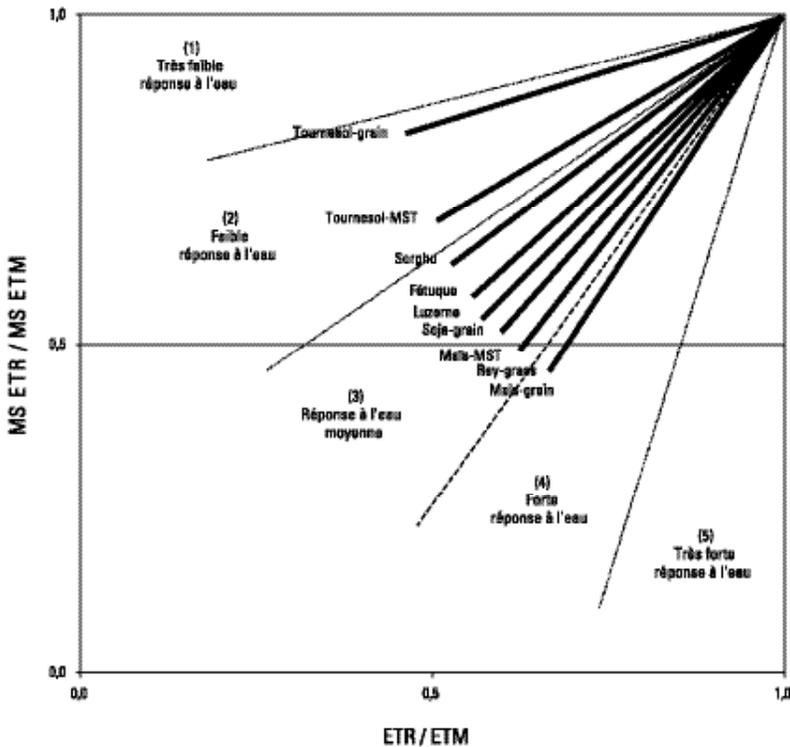
¹⁵ Les valeurs d'efficacité citées dans la littérature varient fortement du fait des références utilisées (Rg ou PAR) et des méthodes de mesure (rayonnement absorbé ou intercepté par le couvert).

● La durée de vie d'un couvert¹⁶

À indice foliaire donné, la durée pendant laquelle les feuilles conservent leur activité photosynthétique détermine la production de biomasse, d'où l'intérêt d'augmenter cette durée par sélection variétale : variétés tardives, gènes d'anti-sénescence. Mais les contraintes climatiques limitent les possibilités d'allongement du cycle : baisse des températures en climat tempéré, contrainte hydrique en climat chaud.

● L'efficacité de l'eau

C'est le rapport entre la quantité de matière sèche élaborée et la quantité d'eau consommée (g/l). Elle varie au cours du cycle cultural. Les espèces en C4 ont une efficacité globale plus forte en raison de leur taux de photosynthèse plus élevé, tandis que les légumineuses ont des efficacités faibles en raison du coût métabolique de la symbiose. Les besoins (ETM) varient fortement au cours du cycle cultural en fonction du développement et de la croissance du peuplement. La satisfaction des besoins est exprimée au travers du ratio ETR/ETM. Selon les espèces, il apparaît ainsi que l'efficacité de l'eau est plus ou moins forte.

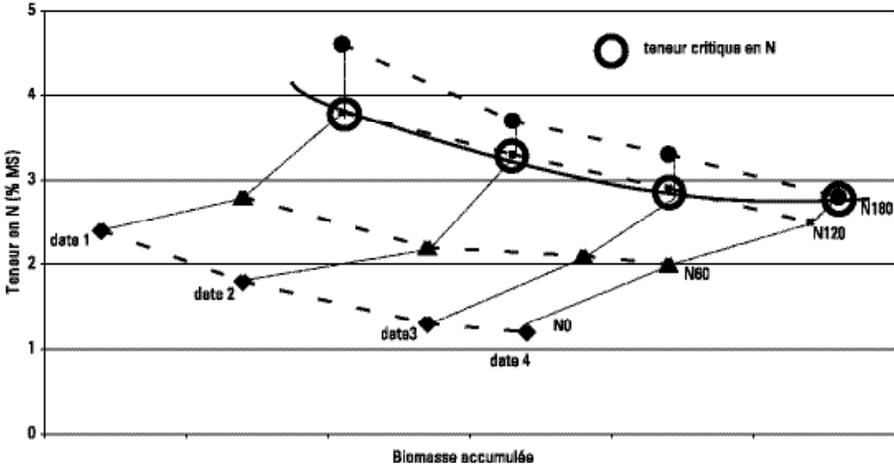


► Figure 9 : Réponse à l'eau de quelques végétaux (d'après Puech et al, 1976)

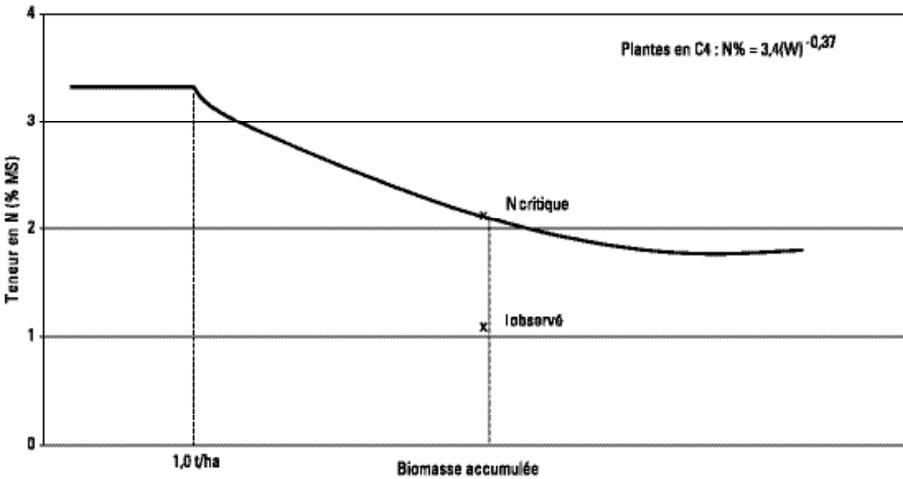
¹⁶ Leaf Area Duration.

● **Le statut azoté**

L'azote est considéré comme le facteur limitant le plus important avec l'eau, les besoins des plantes étant maximaux lors de la phase de croissance active. À l'échelle du peuplement, pendant la phase végétative, la concentration en azote des plantes, qui décroît avec la biomasse accumulée, est d'autant plus faible que la fertilisation est limitante. On définit alors à chaque instant la concentration critique comme la concentration minimale permettant la croissance optimale¹⁷, puis l'indice de nutrition azotée (Nitrogen Nutrition Index) comme le rapport de la concentration observée à la concentration critique. Cet indice permet de porter un diagnostic sur le niveau de satisfaction des besoins.



► Figure 10 : Détermination de la teneur critique en azote d'un peuplement de féruque élevée (d'après Gastal et Lemaire, 1997)



► Figure 11 : Détermination d'un indice de nutrition en azote d'un peuplement de féruque élevée (d'après Gastal et Lemaire, 1997)

¹⁷ Ni carence azotée, ni consommation de luxe.

● **Les capteurs souterrains**

La croissance des capteurs souterrains est sous la dépendance du niveau de croissance des parties aériennes. Au cours du cycle, le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne diminue, traduisant une allocation croissante des assimilats vers les parties aériennes. La biomasse racinaire est en général maximale au début de la phase reproductive. Ces capteurs souterrains prélèvent l'eau et les éléments minéraux dans leur environnement.

● **Les éléments minéraux**

Au champ, l'absorption par les racines dépend des besoins créés par la croissance des parties aériennes, de la concentration en éléments minéraux du sol en contact avec la racine et des différentes conditions du milieu : pH, température, aération.

Le facteur limitant la nutrition minérale est rarement l'absorption racinaire, mais plutôt la vitesse de réapprovisionnement de la rhizosphère. Ce réapprovisionnement s'appuie sur deux mécanismes : la diffusion des solutés dans l'eau du sol¹⁸ et leur transport avec l'eau du sol sous l'action de l'évapotranspiration.

● **L'eau**

L'eau peut être prélevée dans le sol par les racines, si leur force de succion est supérieure à celle du sol. La force de succion est directement liée à la demande climatique, elle-même relayée par les feuilles (transpiration), les vaisseaux des tiges, puis les racines. La force de rétention par le sol dépend essentiellement de son humidité et de sa texture. La distribution spatiale (verticale et horizontale) du système racinaire détermine la possibilité et l'importance des prélèvements (cf. chapitres 412 et 434 pour l'étude d'un bilan hydrique).

● **L'interaction eau/éléments minéraux**

L'alimentation hydrique et la nutrition minérale interagissent fortement sur la croissance du fait de l'absorption parallèle de ces deux facteurs de croissance. Ainsi, le niveau de fumure azotée conditionne l'efficacité de l'eau d'une culture de maïs irriguée ou non irriguée.

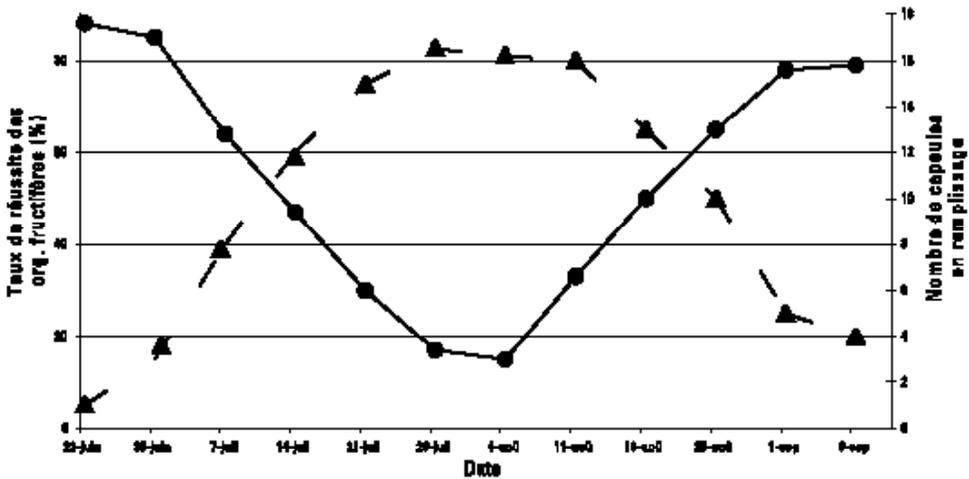
LES RELATIONS CROISSANCE - DÉVELOPPEMENT

Le rendement est une caractéristique importante mais pas unique de l'état final du système. Résultat de l'interaction permanente entre la croissance et le développement, le rendement se construit sur l'ensemble du cycle. Il découle d'une succession de structures du peuplement et d'un enchaînement entre période végétative et reproductive qui diffère suivant les espèces.

¹⁸ Sans mouvement d'eau.

● Les relations source-puits

L'interception de facteurs de croissance (rayonnement, CO₂, eau, éléments minéraux) par les organes capteurs (feuilles, racines) constitue une source d'assimilats qui, à chaque instant, forme «l'offre disponible». Coexiste avec cette fonction d'offre, une fonction de demande issue de l'initiation de nouveaux organes qui, soit temporairement¹⁹, soit durablement²⁰, nécessitent un transfert d'assimilats à partir des organes sources pour assurer leur croissance et leur maintien. Durant la phase végétative, ces flux sont dirigés vers les organes en croissance à savoir les apex des racines, tiges et feuilles. Durant la phase reproductive, les flux sont réorientés vers les organes reproducteurs. Chez de nombreuses espèces, des transports d'assimilats (dits de remobilisation) apparaissent en fin de cycle cultural entre les parties végétatives et les organes de stockage. Ces transports, qui accroissent sensiblement la biomasse des organes de stockage, se déroulent alors que la croissance nette du peuplement est devenue nulle. L'analyse quantitative de l'offre et de la demande conditionne l'utilisation des assimilats et détermine la vitesse de croissance de la plante entière.



► Figure 12 : Relation, chez le cotonnier entre l'évolution du nombre de capsules (▲) en remplissage et la survie des organes fructifères (●) : boutons floraux, fleurs (d'après Guinn, 1985)

À la germination, les besoins nécessaires à la mise en place des premiers capteurs proviennent des réserves de la graine²¹. Pendant la phase d'installation du couvert, les demandes individuelles des organes sont d'abord faibles par rapport à l'offre. Progressivement, la situation s'inverse car la multiplication du nombre de phytomères²² accroît fortement la demande. L'offre du milieu, par définition limitée, ne peut pas satisfaire cette demande et l'offre devient alors limitante.

Lorsque l'offre est supérieure à la demande, tous les organes initiés maintiennent leur taille maximale et les assimilats non utilisés sont stockés, sous forme de réserves

19 Cas des organes aériens passant par une phase d'hétérotrophie avant autotrophie.

20 Cas des organes souterrains ou d'accumulation.

21 Phase d'hétérotrophie.

22 Activité du méristème caulinaire et ramifications.

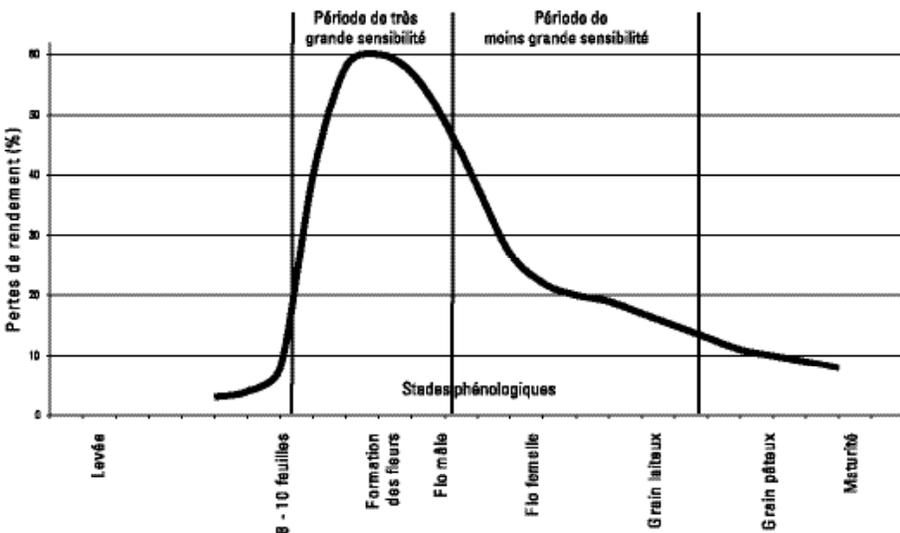
transitoires dans le système vasculaire lui-même. Lorsque la capacité de stockage arrive à saturation, l'offre est réduite par une diminution de l'efficacité photosynthétique.

Lorsque la demande est supérieure à l'offre, les réserves transitoires complètent dans un premier temps l'offre photosynthétique. Cela permet de maintenir la taille des organes formés mais ceux en cours d'initiation voient leur taille potentielle diminuer²³ et leur nombre baisser²⁴. Dans un deuxième temps, une remobilisation peut s'opérer à partir d'autres tissus qui perdent alors leur fonctionnalité. Nombre et taille des organes puits sont réduits.

● La notion de stade critique

Certains organes jouent un rôle primordial dans la formation des composantes du rendement. C'est en particulier le cas des organes reproducteurs des espèces à floraison groupée car une éventuelle réduction de leur nombre ou de leur taille ne peut être compensée à un moment ultérieur du cycle. Lorsque ces organes, en plus des problèmes d'adéquation entre l'offre et la demande en assimilats, présentent une forte sensibilité aux conditions climatiques, leur période d'initiation et/ou de formation définit une phase critique.

Chez le maïs par exemple, des conditions hydriques ou thermiques sans conséquence en début de végétation peuvent entraîner une réduction importante du rendement si elles apparaissent pendant la floraison et la fécondation. Plusieurs phénomènes en sont la cause : une réduction du nombre de fleurs initiées, une pollinisation incomplète ou un avortement des graines pendant leur phase de division cellulaire.



► Figure 13 : Perte de rendement grain d'une culture de maïs suivant la période d'application d'une contrainte hydrique (d'après Robelin, 1976)

²³ Nombre de cellules réduite.

²⁴ Avortements.

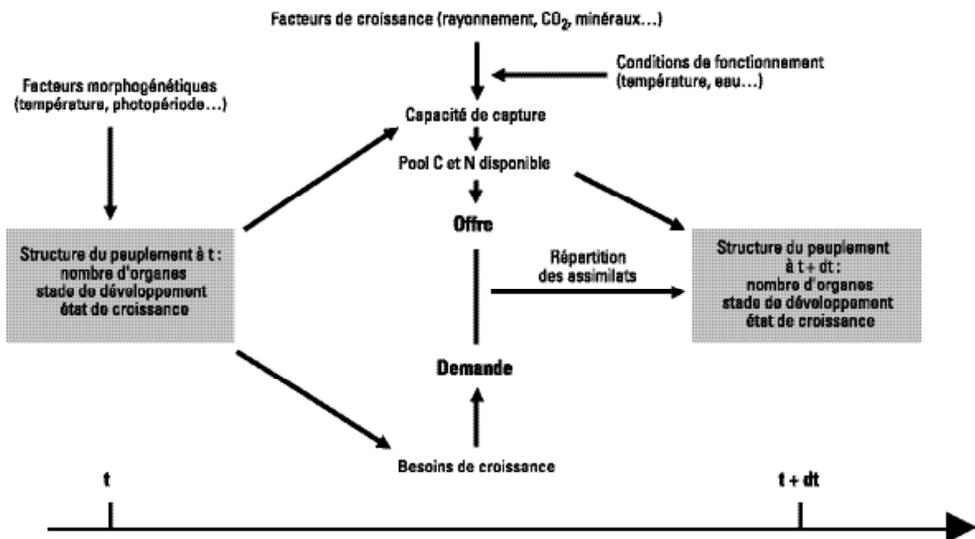
Dès que la graine a franchi le stade limite d'avortement, elle commence sa phase active de remplissage. En cas de contrainte trophique, elle n'avorte plus mais des conditions hydriques limitantes ou des températures excessives perturbent ce remplissage²⁵ et ne permettent pas l'obtention d'une taille maximale de la graine. Le poids d'un grain et le rendement sont alors réduits.

Les plantes à tubercules ne présentent pas de période critique sensu stricto, car le rendement est beaucoup plus lié au poids moyen des tubercules qu'à leur nombre. La phase d'implantation de la culture est la plus déterminante pour le rendement final.

● La structure du peuplement et l'élaboration du rendement

Le rendement observé à la récolte est la résultante du programme morphogénétique et des relations puits-sources. Ces interactions peuvent être révélées par un enchaînement de structures de peuplement. Ces structures peuvent être décrites par l'âge, le nombre et la biomasse des organes végétatifs et reproducteurs concourant à la constitution du rendement : nombre d'individus par unité de surface, nombre d'organes de capture ou de stockage par individu.

La structure du peuplement à l'instant t détermine à la fois les besoins de croissance²⁶ et la capacité de capture des facteurs de croissance²⁷. L'importance et le devenir des assimilats vont alors déterminer la structure du peuplement à l'instant $t + dt$. À la notion de demande correspond celle de composante de rendement et à la notion d'offre correspondent les caractéristiques du milieu.



► Figure 14 : Evolution de la structure du peuplement végétal et fonctionnement en termes d'offre et de demande (d'après Masle et Fleury, 1994)

25 Phénomène d'échaudage.

26 Par le nombre et l'activité des organes puits.

27 Par le nombre et l'activité des organes source.

Deux phases constituent la vie d'une plante. En début de cycle cultural, la plante se ramifie et multiplie ses organes végétatifs²⁸. C'est la période végétative. Ensuite, elle fabrique les organes reproducteurs dans lesquels la matière sèche s'accumulera. C'est la période reproductrice. L'analyse de la formation du rendement dépend du mode d'enchaînement de ces deux phases.

Dans le cas des plantes à croissance déterminée (céréales), ces deux phases se succèdent sans se chevaucher. On distingue donc une première phase de mise en place d'une capacité de capture²⁹ et du nombre d'organes reproducteurs, suivie d'une phase d'utilisation de ce potentiel pour remplir les grains formés. Dans le cas des plantes à croissance indéterminée (légumineuses, cotonnier), ces deux phases se chevauchent partiellement. Leur durée dépend des rapports entre le développement reproducteur et l'offre par les capteurs.

En conditions limitantes, le rendement des plantes à croissance déterminée est moins pénalisé³⁰ car le basculement complet de la croissance végétative à la croissance reproductrice permet l'obtention d'indices de récolte et de rendements plus élevés. En revanche, le rendement des plantes à croissance indéterminée est moins pénalisé par un stress pendant la floraison car le prolongement de cette dernière permet de compenser les pertes de fleurs ou les avortements occasionnés.

Chez les plantes à réserves (pomme de terre par exemple) on peut, comme chez les espèces à croissance déterminée, distinguer deux phases successives : une phase d'incubation où se forment le nombre de tubercules par unité de surface³¹, suivie d'une phase de grossissement des organes unitaires dépendante des capacités d'offre du couvert.

● **Comprendre les déterminants de la production**

En étudiant le fonctionnement du peuplement végétal, l'agronome cherche à comprendre les déterminants de la production végétale. Pour chaque espèce cultivée, les règles régissant l'élaboration du rendement sont fixées génétiquement, mais leur expression en termes d'états successifs du peuplement dépend des conditions de milieu rencontrées par la culture au cours de son cycle. Ces conditions de milieu s'exercent au travers du climat, du sol et des pratiques culturales adoptées.

L'étude du fonctionnement du peuplement végétal permet d'appréhender cette interaction entre sol, plante, climat et pratiques ainsi que ses variations dans le temps. Elle reconstruit le lien non univoque entre une production déficiente³², le dysfonctionnement physiologique qui l'a provoqué³³ et l'origine du dysfonctionnement³⁴. Ce diagnostic permet d'adapter les pratiques aux problèmes rencontrés : suppression d'une carence par un apport de matière fertilisante, correction d'une hydromorphie par drainage, choix d'une espèce mieux adaptée à un type de sol.

28 Mise en place des capteurs.

29 Mise en place de la surface foliaire.

30 Sous réserve d'éviter un stress pendant la floraison.

31 Fonction de l'aptitude du tubercule-mère à mobiliser ses réserves et de la vitesse de croissance.

32 Rendement réduit, teneur en huile insuffisante, préjudice environnemental.

33 Mise en place d'une surface foliaire insuffisante, remplissage des grains pénalisé.

34 Par exemple une nutrition minérale déficiente liée à une compaction du sol.

Les indicateurs utilisés pour l'étude du fonctionnement du peuplement végétal doivent être pertinents par rapport au processus étudié. Par exemple, la mesure de l'activité photosynthétique et le suivi de l'accroissement de biomasse en réponse à l'alimentation hydrique renseignent sur le même processus de fixation de carbone mais avec des temps de réponse et un caractère intégratif différents. En outre, la mesure de ces indicateurs doit pouvoir être suffisamment répétée pour intégrer la variabilité spatiale et temporelle du système étudié.

Bibliographie

- COMBE L. et PICARD D., 1994 – *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. INRA Ed. 191 p.
- LOOMIS R.S. et CONNOR D.J., 1992 – *Crop ecology : productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press, 520 p.
- VARLET-GRANCHER C., BONHOMME R. et SINOQUETH., 1993 – *Crop structure and light microclimate. Characterization and applications*. INRA Ed. 518 p.

4 2

Les démarches d'amélioration d'un système de culture

- 4.2.1 Le raisonnement d'un itinéraire technique**
- 4.2.2 L'expérimentation en milieu paysan**
- 4.2.3 Les associations et les successions de culture**
- 4.2.4 Les cultures pérennes et les systèmes agroforestiers**



Le raisonnement d'un itinéraire technique

À partir d'une contribution de C. Fovet-Rabot (CIRAD)

DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES

La définition de l'itinéraire technique est simple¹ : c'est la suite logique et ordonnée de techniques appliquées à une culture. Autrement dit, c'est l'ensemble des techniques combinées pour conduire une culture, y compris le choix de la variété, en vue d'atteindre des objectifs divers, accompagné des raisons qui justifient ces choix.

● *La cohérence de l'itinéraire technique*

L'itinéraire technique est une conduite cohérente de la culture, tout au long de son cycle de végétation, dans un milieu naturel et social donné. Ceci signifie, en particulier, que :

- > *toutes les opérations sont interdépendantes.* La réalisation d'une opération dépend de ce qui s'est passé auparavant. Elle va elle-même influencer le choix et la réalisation des opérations suivantes. La conduite de la culture n'est donc pas une juxtaposition d'opérations regroupées dans différentes rubriques sans lien entre elles : travail du sol, semis, fertilisation, protection... Il faut gérer un ensemble d'interactions entre techniques culturales, milieu et peuplement végétal et prendre simultanément en considération un ensemble de risques ;
- > *les opérations sont décidées par un agriculteur.* Celui-ci effectue des choix selon des critères et des contraintes techniques, économiques et sociales. « *La pratique d'un itinéraire technique correspond à la mobilisation de moyens (matériels, intrants), à la fourniture de travail humain (manuel, intellectuel) et à la poursuite d'un objectif de production donné (qualité et quantité)* »².

¹ SEBILLOTTE M., 1978. *Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique*. C.R. Acad. Agric. Fr., 64 (11) : 906-914.
SEBILLOTTE M., 1990. *Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes*. In Les systèmes de culture, L. COMBE et D. PICARD éditeurs. INRA, Paris, p. 165-196.

² CAPILLON A., CANEILL J., 1987. *Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome*. Cah. Sci. Hum. 23 (3-4) 1987, p. 409-420.

● Adapter les itinéraires au fonctionnement de l'exploitation

Les itinéraires techniques sont indissociables du fonctionnement de l'exploitation agricole. Ils entrent dans la constitution des systèmes de culture³ et ils sont mis en œuvre dans le cadre d'exploitations agricoles, dans un contexte socio-économique donné.

Tout d'abord, il existe des interactions entre les conduites techniques des cultures et les successions culturales, elles-mêmes liées à des types de parcelles : il ne faut pas oublier qu'une même culture peut être conduite de différentes façons dans une même exploitation agricole.

Les itinéraires techniques pratiqués par les agriculteurs dépendent de leurs objectifs de production et de leurs connaissances techniques, qui influent sur la répartition de leurs moyens de production entre les différentes activités de l'exploitation. Les itinéraires techniques sont ainsi indissociables du fonctionnement de l'exploitation agricole.

Enfin, les itinéraires techniques peuvent être dépendants de niveaux plus englobants. C'est le cas, par exemple, lorsqu'un moyen de production est géré collectivement (eau dans les périmètres irrigués), ou lorsqu'un cahier des charges est fourni par une entreprise qui passe contrat avec l'agriculteur.

L'ÉLABORATION DES ITINÉRAIRES TECHNIQUES

L'agronome doit prendre en compte le contexte agricole et l'intégrer au raisonnement des techniques. Il y a peu, les sociétés de développement demandaient à l'agronome de proposer des solutions permettant d'atteindre un rendement maximal. Pour cela, on supposait qu'il n'existait qu'une seule combinaison de techniques.

Aujourd'hui, différents éléments ont modifié cette demande. Le progrès technologique met à la disposition des agriculteurs de nombreux équipements, produits phytosanitaires, variétés. Cela permet d'envisager, pour arriver au même résultat, de nombreuses combinaisons. Les conditions sociales et économiques de la production ont évolué et les intérêts des producteurs également. De ce fait, l'agronome oriente de plus en plus son conseil vers plusieurs gammes d'itinéraires techniques, liés à différents niveaux de production. En outre, ces recommandations ne doivent pas viser le rendement comme seul critère de choix. En effet, l'agriculteur s'intéresse à d'autres facteurs de décision comme le revenu moyen à l'hectare, la marge brute, la productivité du travail, voire l'impact sur l'environnement. Les références fournies par l'agronome doivent donc concerner l'ensemble de la conduite de la culture et être cohérentes avec l'ensemble du système technique de production.

³ Système de culture : ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se caractérise par : la nature des cultures et leur ordre de succession ; les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures.

L'appui que peut prodiguer efficacement un agronome de terrain a été bien décrit⁴ : «*La tâche de l'agronome est d'observer et d'analyser des pratiques agricoles dans le but de proposer des solutions techniques compatibles avec les moyens disponibles (humains, matériels, financiers) et conformes aux objectifs des producteurs. (...) On peut penser qu'en associant des approches à plusieurs niveaux (parcelle, exploitation, région), il est possible d'explicitier l'emploi des techniques par les agriculteurs et de proposer des références adaptées. (...) L'agronome peut soit proposer plusieurs voies pour un même niveau de rendement, soit définir l'objectif de rendement le mieux adapté aux ressources que l'agriculteur peut mettre en œuvre*».

QUATRE EXEMPLES DE TERRAIN

Les quatre cas de terrain suivants permettent de comprendre comment les agriculteurs pratiquent l'itinéraire technique et comment l'agronome peut intervenir.

- > Le premier exemple illustre la cohérence de l'itinéraire technique : il montre que l'introduction d'une opération, comme l'emploi d'un herbicide, influe sur toute la suite de l'itinéraire technique.
- > Le deuxième exemple, qui relate la manière de cultiver du riz irrigué le long du fleuve Sénégal, montre que des choix différents faits par les agriculteurs répondent à des logiques fortes, liées à la structure de leurs exploitations et à leurs objectifs de production.
- > Les troisième et quatrième exemples illustrent le passage de la réflexion sur la modification des itinéraires techniques d'une culture à la réflexion sur la modification des systèmes de culture dans leur ensemble. Le troisième exemple, sur les techniques de travail du sol simplifiées au nord du Cameroun, explique comment une innovation technique, qui modifie la conduite d'une culture, a des conséquences qui vont au delà de l'exploitation, jusqu'à la gestion collective des ressources naturelles régionales. Dans le quatrième exemple, en Côte d'Ivoire, agriculteurs et agronomes cherchent à s'adapter à une contrainte climatique : les propositions sont très diverses. Certaines aboutissent au changement des systèmes de culture et concourent à modifier totalement la gestion des moyens de l'exploitation.

● **Introduction d'un herbicide et modification de l'itinéraire technique**

Il arrive que les agriculteurs des zones cotonnières posent la question suivante, déroutante au premier abord : pourquoi l'herbicide gêne-t-il la pénétration de l'eau dans le sol ? C'est un raisonnement en termes d'itinéraire technique qui va permettre d'y répondre.

L'herbicide de pré-levée est épandu, en culture cotonnière pluviale, sur sol nu et humide en même temps que le semis (cf. chapitre 435). Sa durée d'action est de l'ordre de six semaines : la couche de sol superficielle traitée (1 à 2 cm d'épaisseur) ne doit pas être perturbée pendant cette période. Ce sol nu, sous l'effet des premières pluies, peut prendre un aspect lissé en formant une croûte qui favorise le ruissellement. Une parcelle voisine, travaillée en sarclage mécanique, n'aura pas cet état de surface lissé : l'eau y pénètre mieux parce que la formation de la croûte est perturbée

⁴ CAPILLON A., CANEILL J., 1987. Op. cité. CCAPILLON A., FLEURY A., 1986. *Conception d'itinéraires techniques respectant la diversité des exploitations agricoles: les enseignements d'un essai*. BTI 408, p. 281-294.

par les travaux mécaniques. Il ne s'agit donc pas d'une action directe de l'herbicide sur le sol mais de la conséquence des conditions de son efficacité. Cette observation amène à réfléchir aux conséquences de l'emploi d'un herbicide de pré-levée sur les autres éléments de l'itinéraire technique.

● **Incompatibilité entre un herbicide de pré-levée et l'apport précoce d'urée**

En premier lieu, l'utilisation d'un herbicide de pré-levée exclut l'apport précoce de l'urée (30 jours après le semis) puisque cette opération culturale, en perturbant la couche superficielle du sol, annule l'effet de l'herbicide. Que faire si l'on souhaite maintenir le premier apport d'urée ? Plusieurs solutions sont envisageables :

- > avec un herbicide de pré-levée : préparation du sol, semis et épandage d'un herbicide de pré-levée peu persistant (30 jours, par exemple le *diuron*), apport de l'urée vers 30 jours puis sarco-buttage pour éliminer les mauvaises herbes qui commencent à pousser ;
- > sans herbicide de pré-levée : préparation du sol comportant le labour⁵, semis, premier sarclage vers 15 jours, urée à 30 jours enfoui superficiellement, sarco-buttage vers 45 jours. Dans ce cas, la maîtrise des mauvaises herbes est assujettie à un travail du sol de préparation et d'entretien régulier.

On voit que l'introduction d'un herbicide de pré-levée modifie à la fois les décisions de travail du sol et de fertilisation et peut constituer une contrainte supplémentaire quant au calendrier agricole.

● **Herbicide de pré-levée et techniques anti-érosives**

En deuxième lieu, l'emploi de l'herbicide de pré-levée peut accroître le risque d'érosion hydrique : dans certaines écologies tropicales, selon la situation des parcelles, a-t-on intérêt à laisser un sol nu en début de culture ? Ne faut-il pas imaginer d'autres moyens qui permettraient à la fois de protéger le sol de l'agression des pluies et de lutter contre les mauvaises herbes ? Les techniques simplifiées de travail du sol, l'emploi des herbicides totaux, la pratique de couvertures végétales sous la culture sont des solutions dont la mise en œuvre est plus ou moins facile selon le milieu naturel, la structure de l'exploitation agricole et les conditions socio-économiques.

● **Comprendre la diversité des itinéraires techniques**

Le cas proposé a été étudié par des agronomes dans les années quatre-vingt⁶. Il reste d'actualité et permet de comprendre jusqu'où peut aller la réflexion sur l'itinéraire technique et son intégration au sein de l'exploitation agricole.

5 Son premier rôle étant de nettoyer la parcelle des adventices.

6 BONNEFOND P., CANEILL J., 1981. *Systèmes de culture et unités de production sur la rive gauche du fleuve Sénégal*. Et. Scient., déc. 1981, p. 15-36.

Dans un périmètre irrigué du fleuve Sénégal, cultivé en monoculture de riz, les agriculteurs pratiquent deux types d'itinéraires techniques fondés sur deux modes d'implantation de la culture (cf. tableau 1) :

- > *dans le premier cas (pépinière puis repiquage)*, le début de campagne se caractérise par une grande mobilisation de main-d'œuvre pour l'opération de repiquage des plants. Cette technique permet une installation du peuplement rapide et régulière, qui limite les risques d'enherbement⁷. Les apports d'engrais peuvent dans ces conditions être prévus en fonction des stades de développement du riz, donc selon les besoins. Avec peu de mauvaises herbes et un apport fractionné des engrais aux périodes adaptées, on observe le plus souvent des productions élevées;
- > *dans le deuxième cas*, le semis à la volée de graines prégermées implique peu de travail. En revanche, la structure du peuplement est irrégulière et la levée peu homogène. Les mauvaises herbes se développent en même temps que le riz : le risque d'infestation est important. Le désherbage manuel nécessite donc beaucoup de temps et de travail : il est impossible de désherber la parcelle correctement et rapidement. Les apports d'engrais sont retardés tant que la parcelle n'est pas propre, voire réduits. Finalement, c'est l'incapacité à lutter efficacement contre les mauvaises herbes qui compromet la suite des opérations culturales. On observe des productions en général bien inférieures à celles obtenues avec le premier itinéraire technique.

Tableau 1. Itinéraires techniques, besoins en main d'œuvre, effets agronomiques (périmètre de Guédé, fleuve Sénégal)

	Itinéraire technique 1 : implantation méticuleuse	Itinéraire technique 2 : implantation rapide
Implantation de la culture	<p><i>Technique :</i> Semis en pépinière Repiquage en ligne à 30 jours dans une lame d'eau</p> <p><i>Conséquences :</i> Temps de travail élevé et forte pénibilité Enherbement limité si la lame d'eau est maintenue Désherbage facile du fait des lignes (repiquage au cordeau)</p>	<p><i>Technique :</i> Semis à la volée de graines prégermées</p> <p><i>Conséquences :</i> Temps de travail très faible Risque élevé d'enherbement (les adventices se développant en même temps que le riz) Désherbage difficile (pas de ligne ; peuplement irrégulier)</p>
Fertilisation : engrais en épandages manuels fractionnés	Dates d'épandage fixées en fonction du stade du riz	Dates d'épandage non prévisibles, à établir en fonction de l'état de salissement de la parcelle (le but étant d'éviter la consommation de l'engrais par les mauvaises herbes).
Récolte et battage manuels	–	L'hétérogénéité du peuplement et la présence de mauvaises herbes peuvent avoir des conséquences néfastes sur la facilité et la qualité de la récolte et du battage.

⁷ Avance de la culture sur les adventices, maintien d'une lame d'eau réduisant la germination ou la levée des graines de mauvaises herbes.

Pourquoi les agriculteurs de ce périmètre irrigué n'appliquent-ils pas tous le premier itinéraire ? En fait, le choix de l'un ou de l'autre dépend de la disponibilité en moyens financiers et en main-d'œuvre au sein de l'unité de production :

- > ceux qui ont soit un nombre important d'actifs agricoles, soit l'argent pour embaucher des salariés en début de campagne, choisissent le repiquage ;
- > ceux qui ont peu d'actifs agricoles ou peu d'argent disponible sèment leurs parcelles à la volée ;
- > d'autres combinent les deux techniques selon les moyens disponibles.

Que faire pour améliorer ces conditions de production ? L'emploi d'herbicides pallierait le manque de main-d'œuvre et l'étalement dans le temps du désherbage, et permettrait ainsi de mieux valoriser les engrais. Cette solution trouverait sa pleine justification chez les agriculteurs qui sèment la totalité ou une grande part de leurs parcelles à la volée. Mais deux difficultés sont prévisibles en regard du risque pris par l'agriculteur :

- > le financement des produits et du matériel d'épandage ;
- > la maîtrise technique : choix des doses et des dates d'application.

Pour avoir une chance d'être tentée par ces agriculteurs, cette proposition impliquerait obligatoirement de mettre en place un crédit de campagne supplémentaire et un conseil agricole efficace. Les riziculteurs qui ont une main-d'œuvre familiale nombreuse pourraient ne pas vouloir investir dans une technique qui n'a pas d'application dans un autre système de culture. En revanche, ceux qui embauchent des salariés au repiquage pourraient y être favorables : ils ont l'argent nécessaire, ils sont ouverts vers l'extérieur, ils ont l'habitude de piloter des chantiers et ont pour objectif des productions élevées. Toutefois, cela les obligerait à remettre en cause leurs habitudes techniques : ils y voient tout au plus un intérêt dans le cas de pénurie de main d'œuvre ou d'un accès à davantage de surface.

Si l'agronome trouve évident de proposer l'emploi d'un herbicide, l'introduction de cette technique dans la pratique des agriculteurs est loin d'être possible, parce qu'elle est incompatible avec les moyens disponibles sur certaines exploitations agricoles et n'est pas conforme aux intérêts d'autres exploitations. Ce sont des raisons socio-économiques, simples mais pas forcément évidentes : technique liée à la seule riziculture, organisation du travail des actifs, disponibilités financières.

Il ne suffit donc pas à l'agronome d'identifier les techniques, il doit relativiser son jugement en cherchant à comprendre pourquoi elles sont appliquées d'une certaine manière. En d'autres termes, il lui faut remonter de la parcelle cultivée jusqu'à l'exploitation agricole pour comprendre les pratiques de l'agriculteur. Cette compréhension lui permet ensuite de proposer des solutions réalistes.

● **Interpréter la variabilité et l'évolution des itinéraires techniques**

Au nord du Cameroun, certains agriculteurs pratiquent le semis direct sans préparation du sol pour le cotonnier, contrairement aux préconisations techniques régionales. Des agronomes ont cherché à comprendre leurs motivations et ont affiné les propositions techniques dans ce sens⁸.

8 DUGUÉ P., GUYOTTE K., 1996. *Semis direct et désherbage chimique en zone cotonnière du Cameroun*. Agriculture et développement 1, p. 3-15.

Les paysans disposent d'un nombre limité de jours de travail aux mois de mai et juin pour mettre en place les cultures (cotonnier, maïs, sorgho, arachide) et pour commencer les premiers sarclages : il y a chevauchement entre le premier sarclage de l'arachide et du sorgho et les préparations du sol et semis du cotonnier et du maïs. De ce fait, la surface labourée et semée par type de culture varie avec la distribution des pluies en début de saison agricole et selon les objectifs et les moyens de production : disponibilité en attelages, en charrues et en main-d'œuvre. La culture cotonnière revêt dans cette région une importance toute particulière puisque c'est une culture de rente, dont la production est gérée et traitée par la SODECOTON, société nationale de développement. Cultiver le cotonnier assure un revenu et permet d'accéder à la fourniture d'intrants à crédit.

● Les options techniques pour l'implantation du cotonnier

La première option est la préparation classique : labour en culture attelée ou houage manuel⁹ ou, à l'extrême, quand le retard se fait sentir, un semis sans préparation du sol ni emploi d'herbicide. Le semis est toujours manuel, à l'aide d'une daba.

La deuxième option est le semis sans préparation du sol avec désherbage chimique : entre le 10 et le 20 mai (au moins deux semaines avant la date de semis souhaitée), épandage de *paraquat* (herbicide total de contact¹⁰) sur jeunes adventices, sauf si le couvert est faible. Ensuite, au moment du semis, deuxième épandage de *paraquat* + *diuron* (herbicide de pré-levée) sur sol humide. Les agriculteurs maîtrisent assez bien l'application des herbicides en culture cotonnière.

La troisième option est intermédiaire, c'est un travail à la dent sur la ligne de semis avec désherbage chimique : mêmes recommandations de désherbage que l'option précédente. Le jour du semis, la ligne est marquée à l'aide d'une dent de canadien montée sur un corps sarcléur, qui pénètre à 10-15 cm de profondeur, ou alors à la main avec la houe.

Tableau 2. Temps de travaux, en heures par hectare, pour l'implantation du cotonnier

Technique d'implantation	1 ^{er} herbicide	Travail du sol	Semis	2 ^{ème} herbicide	Total heures/ha
Labour bovin	-	39	56	-	95
Labour asin	-	66	60	-	126
Houage manuel	-	120	52	-	172
Semis direct	3	-	60	3	66
Dent traction bovine	3	12	32	3	50
Dent traction asine	3	21	36	3	63
Houage manuel sur la ligne	3	64	44	3	114

L'observation des temps de travaux (cf. tableau 2) montre que l'option intermédiaire est la plus rapide pour la culture attelée, suivie de près par le semis direct : le traçage de la ligne de semis permet en fait d'éviter la pose du cordeau pour semer ensuite à la main. D'un point de vue agronomique, les productions obtenues après labour et semis direct sont équivalentes, celles permises par le travail à la dent sur la ligne de semis montrant un léger avantage : l'enracinement pivotant du cotonnier est favorisé.

⁹ De moins en moins pratiqué.

¹⁰ Cf. Définition au chapitre 435.

Sur le plan économique, le coût de l'herbicide total vient s'ajouter aux charges mais induit une moindre mobilisation des attelages et un gain de temps, qui permettent de se consacrer à bon escient aux autres cultures (vivrières et vente locale), dont la production augmente.

● Les critères de choix d'une option technique

La décision dépend de l'installation de la saison des pluies et du niveau d'équipement. Lorsque les premières pluies sont faibles, les travaux, quel que soit le niveau d'équipement, prennent du retard. Les resemis de sorgho et d'arachide sont fréquents jusqu'au début du mois de juin, ce qui reporte les semis de maïs et de cotonnier : ceux-ci s'achèvent alors au cours du mois de juillet. Si ces retards ont des effets minimes pour le maïs¹¹, ils sont très pénalisants pour la production cotonnière. Ce retard est d'ailleurs chronique dans les exploitations peu équipées, quelles que soient les conditions climatiques. En culture manuelle, comme en culture attelée, le semis direct du cotonnier, ou le travail à la dent sur la ligne de semis, sont particulièrement appropriés et auront des effets positifs sur l'ensemble de la campagne agricole.

Si la saison des pluies s'installe normalement, dès le mois d'avril, la préparation classique des parcelles est réalisable à temps pour les exploitations correctement équipées. La décision dépend de fait du niveau d'équipement. L'agriculteur travaillant à la main aura intérêt à opter pour le semis direct pour deux raisons : la location d'un attelage revient plus cher que l'herbicide et elle ne bénéficie pas d'un crédit ; le houage manuel, long et pénible, va inmanquablement entraîner des retards. Pour les exploitations en culture attelée, le choix concerne tout ou partie de la sole cotonnière et il dépend de l'organisation du calendrier cultural en fonction de l'assolement prévu.

Pour un début des pluies précoce, les exploitations en culture attelée préféreront labourer, pour deux raisons : les opérations d'installation des cultures peuvent commencer plus tôt et le semis direct devient onéreux car il implique au moins deux traitements herbicides préalables pour éliminer une végétation adventice exubérante. Les exploitations en culture manuelle ont en revanche tout intérêt à pratiquer le semis direct pour faire face ensuite au surcroît de travail au moment des premiers sarclages.

● Implantation rapide du cotonnier et ressources naturelles

Dans les parcelles de cotonnier implantées sans préparation du sol, le ruissellement est moindre, grâce au *mulch* d'adventices pouvant atteindre 500 kg/ha de matière organique sèche. On pourrait laisser pousser davantage les mauvaises herbes avant l'application de l'herbicide, mais le *paraquat* n'est plus assez efficace et il faudrait employer un produit systémique comme le *glyphosate*. Cet itinéraire technique permettrait d'imaginer un système de culture alternant, par exemple, le maïs après labour et le cotonnier sur *mulch* (paillis) ou alors de s'orienter vers un système fondé sur le non travail du sol et sur l'installation de couvertures végétales sous culture.

La rapidité d'exécution que procure l'implantation simplifiée du cotonnier est également favorable à l'accroissement des superficies cultivées. Or, dans certaines zones du nord du Cameroun, la stratégie d'extension des surfaces est forte.

11 À condition de disposer pour la circonstance de variétés précoces.

Cela se ferait alors au détriment des jachères et des espaces défrichables, avec des effets préjudiciables à long terme sur la reproductibilité de ces systèmes de culture à l'échelle des territoires villageois.

● De la modification de l'itinéraire technique au changement de système de culture

Les semis de cotonnier en Côte d'Ivoire se font de préférence les 15 premiers jours du mois de juin. Dans le nord du pays, où la saison sèche s'étend d'octobre à mai, la culture peut être semée sans difficulté car les mauvaises herbes sont facilement détruites par une préparation classique : labour ou façons superficielles. En revanche, en zone centre, les pluies commencent en février, elles s'intensifient de façon aléatoire entre mars et mai en une petite saison des pluies avant la véritable saison pluvieuse qui constitue aussi la principale saison de culture. Ces pluies de début d'année provoquent le développement d'une végétation adventice exubérante en dehors de la principale période cultivée : au mois de mai, l'agriculteur se trouve devant une parcelle envahie par une masse végétale énorme, atteignant parfois 3 m de haut : c'est le cas avec *Rottboellia cochinchinensis*. Il ne s'agit plus d'une simple préparation avant semis. En terme d'itinéraire technique, on peut imaginer les possibilités suivantes :

- > au milieu du mois de mai, l'agriculteur défriche ses parcelles ; les contraintes ne sont pas des moindres (étalement dans le temps, main-d'œuvre disponible, pénibilité) ;
- > dès le mois de mars, l'agriculteur maintient sa parcelle propre en détruisant l'enherbement soit par des travaux mécaniques légers (quatre passages entre mars et juin) soit par un désherbage chimique (deux passages d'herbicide total à dose modérée, comme le *paraquat* ou le *glyphosate*).

Ces deux solutions, qui mobilisent des moyens mécaniques ou financiers, ne sont pas les seules pour pallier l'enherbement. D'autres possibilités existent :

- > les agriculteurs du centre de la Côte d'Ivoire font souvent une avant-culture qui permet d'entretenir la parcelle. Semée en mars (arachide, maïs...), elle est récoltée avant le semis de la culture principale. Toutefois, le caractère aléatoire de la petite saison des pluies rend cette production souvent faible ;
- > dans ce type de zone tropicale humide, des agronomes et des agriculteurs ont mis au point des systèmes avec implantation de couvertures végétales permanentes sous culture. Au centre de la Côte d'Ivoire, la petite saison des pluies peut être occupée, outre par l'avant-culture récoltable, par une plante qui couvre le sol tout au long de l'année. Elle peut être semée chaque année pour constituer un mulch dans lequel sera installée la culture. Elle peut également être semée une fois pour toute (plante vivace) en un couvert permanent vivant dont le développement est géré en fonction des cultures principales par rabattage ou emploi d'herbicide : c'est par exemple possible avec la légumineuse *Pueraria phaseoloides*. Ces itinéraires techniques vont au delà des techniques culturales simplifiées puisque le travail du sol n'a plus lieu et qu'une végétation choisie en plus de la culture est introduite : ils induisent l'organisation de nouveaux systèmes de culture, dits *sous couverture végétale permanente du sol*.

L'IMPORTANT, C'EST LA COHÉRENCE

Le mot clé du raisonnement de l'itinéraire technique est la cohérence. Agronome ou agriculteur, dès que nous souhaitons modifier un élément des opérations culturales, il nous faut penser aux conséquences que ce changement aura en amont, c'est-à-dire avant, dans la suite chronologique des opérations, et en aval, c'est-à-dire après. Ces conséquences s'entendent bien sûr au niveau de la parcelle mais aussi au niveau du système de culture. Cela signifie aussi qu'elles ont forcément des répercussions sur la gestion de l'exploitation agricole, selon des points de vue très divers : temps, connaissance, main-d'œuvre, ressources financières, matériel, intérêts de l'agriculteur...

Une nouveauté technologique, si attrayante soit-elle, ne constitue pas forcément un progrès pour l'agriculteur. À cet égard, l'étude des questions techniques abordées production par production doit toujours être replacée dans le cadre des systèmes de culture et de production.

Bibliographie

- CHARPENTIER H., DOUMBIA S., COULIBALY Z., ZANA O., 1999. *Fixation de l'agriculture au nord de la Côte d'Ivoire : quels nouveaux systèmes de culture ?* Agriculture et développement 21, p. 4-70.
- GRET, FAMV, 1994, *Manuel d'agronomie tropicale. Exemples appliqués à l'agriculture haïtienne*, Paris, GREC, 490 p.
- SOLTNER D., 1998. *Les techniques culturales simplifiées, pourquoi ?* Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemmes-sur-Loire, France, 25 p.
- SOLTNER D., 2000. *Les techniques culturales simplifiées, comment ?* Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemmes-sur-Loire, France, 25 p.

L'expérimentation en milieu paysan

À partir d'une contribution de H. Hocdé (CIRAD)
et B. Triomphe (CIRAD)

DE QUOI PARLE-T-ON ?

Depuis les années 70, et dans le sillage des approches systèmes de tout genre, l'expérimentation en milieu paysan (EMP) – en anglais *on-farm research (OFR)* – s'est introduite peu à peu jusqu'à devenir une pratique de routine chez nombre de chercheurs et agronomes de terrain. De multiples manuels¹ ont été publiés pour guider le néophyte dans la mise en place de sa démarche EMP ou pour aider les chercheurs à adapter leur savoir-faire d'expérimentateur en station aux particularités du milieu paysan.

Dans ce chapitre, nous utiliserons la définition suivante de l'expérimentation en milieu paysan, adaptée de Ponteves et Jouve (1990) : « *LEMP est un processus d'expérimentation qui se déroule dans les conditions de la pratique paysanne. Ce processus a pour objectif d'évaluer les effets techniques, économiques et sociaux provoqués par l'introduction d'améliorations des modes et conditions d'exploitation agricole du milieu. Les effets observés concernent le fonctionnement des écosystèmes cultivés et des unités de production.* »

Cette définition assez large met en exergue plusieurs aspects-clés en dehors du fait que l'expérimentation se fasse en milieu paysan : le fait que l'EMP soit un *processus* plus qu'une activité ponctuelle, qu'il y a nécessairement *introduction de changement* par rapport aux pratiques existantes, et que *l'évaluation se fait sous plusieurs angles*. Elle reste cependant assez ouverte quant au type de changement introduit² et quant au mode de relation entre les paysans et les techniciens ou chercheurs impliqués dans l'expérimentation. Elle concerne avant tout des techniques agricoles au niveau de la parcelle et de l'exploitation agricole et beaucoup moins des innovations au niveau d'un territoire.

Toutes les démarches EMP partagent un même souci : celui de produire des innovations technologiques adaptées et appropriées qui permettent aux paysans de trouver des éléments de réponse à leurs propres problèmes, réponses différentes des solutions génériques proposées par la recherche agronomique classique.

Ce chapitre revisite quelques notions-clés d'une démarche d'« expérimentation en milieu paysan ».

1 Par exemple : MUTSAERS, 1986 ; ASHBY, 1990 ; GUILLONEAU, 1994.

2 Depuis une pratique élémentaire jusqu'au mode d'organisation des travaux au niveau de l'exploitation, en passant par la conception de nouveaux systèmes de culture.

Il prend délibérément le parti d'offrir au lecteur non pas des solutions clés en main, mais plutôt des bases de réflexion pour l'aider à structurer sa propre démarche EMP, ou à l'analyser *a posteriori*. Le lecteur pourra se reporter aux manuels spécialisés pour des exemples précis ou pour approfondir des points de détail (voir notamment Mercoiret 1994).

Ce chapitre est organisé autour des questions suivantes :

- > pourquoi expérimenter chez et avec les paysans ?
- > comment planifier le processus EMP ?
- > comment en faire le suivi et l'évaluation ?
- > comment analyser les résultats et comment les valoriser ?
- > en quoi consiste l'expérimentation paysanne ?

Les réflexions et les exemples sont délibérément centrés sur l'expérimentation agromique avec des cultures annuelles. Dans le cadre de l'expérimentation avec des animaux ou avec des plantes pérennes, les principes de base sont les mêmes, mais des adaptations sont absolument nécessaires pour appliquer correctement ces principes.

POURQUOI EXPÉRIMENTER CHEZ ET AVEC LES PAYSANS ?

Le diagnostic reste bien sûr nécessaire comme préalable à toute phase d'expérimentation, fût-elle de type EMP (cf. chapitres 11 et 12).

● **Quand cette expérimentation est-elle vraiment nécessaire ?**

Il y a suffisamment de points communs entre l'EMP et des démarches complémentaires comme la recherche en station, l'enquête, la diffusion ou l'expérimentation paysanne, pour que la décision du choix de la démarche la plus appropriée soit prise à l'issue d'un minimum de réflexion.

Le tableau 1 présente de manière très schématique quelques critères comparatifs entre ces démarches prises deux par deux et qui peuvent aider à faire pencher la balance plutôt d'un côté ou de l'autre.

Le plus souvent, les technologies que l'on souhaite introduire sont à des stades différents de mise au point, elles sont aussi plus ou moins appropriées ; en outre il faut aussi pouvoir justifier ses actions à des partenaires très différents : les collègues, l'institution de recherche, les bailleurs de fonds, les paysans, la communauté. Dès lors, l'idéal consiste généralement à combiner à des degrés variés recherche contrôlée en station, démarche EMP et expérimentation paysanne, expérimentation et enquête, chaque démarche apportant ses réponses complémentaires dans la résolution d'un même problème.

Tableau 1 : Quelques raisons pour préférer un dispositif EMP à d'autres modalités d'intervention

Que choisir? On préférera	
un dispositif EMP	un dispositif d'expérimentation en station
Si l'établissement du dialogue avec les paysans est recherché	Pour pouvoir dialoguer et collaborer plus facilement avec ses collègues ou supérieurs au sein de sa structure de recherche
Si la variabilité du milieu (physique, socio-économique) est importante	Si on a un fort besoin de précision, d'instrumentation ou de niveau de contrôle sur les facteurs expérimentaux / fixes, ou s'il y a un fort besoin de pérennité
Si les conditions de travail en station ne sont pas propices (pas représentative des conditions ou des problèmes, sols trop hétérogènes, mauvaise gestion / qualité des travaux effectués en station, etc.)	Pour minimiser les coûts de mobilisation des chercheurs
un dispositif EMP	un dispositif d'enquête agronomique
Parce qu'on a besoin d'introduire une innovation qu'on ne rencontre pas, ou très peu chez les agriculteurs	Parce que la diversité des situations rencontrées en milieu paysan est telle qu'elle permettra d'identifier rapidement les principaux facteurs limitants et les avantages et inconvénients des pratiques existantes
Parce que la mise au point de l'innovation technologique est plus importante que l'identification précise des facteurs limitants	Parce que la diversité des conditions du milieu réel oblige à multiplier la taille de l'échantillon
Afin de se forger une crédibilité et une légitimité dans l'action auprès des agriculteurs	Parce qu'on n'a encore rien de précis à offrir aux agriculteurs en terme d'innovation ou de démarche...
un dispositif EMP	un dispositif de diffusion
Lorsque les technologies testées présentent un niveau de risque important	S'il n'y a pas ou guère de doute sur les résultats que les paysans peuvent obtenir avec la nouvelle technologie
Lorsque l'éventail de technologies disponibles ne suffit pas à répondre aux principales préoccupations des paysans	Si l'on dispose déjà d'une offre technologique solide qui permet de résoudre les besoins principaux des paysans
Lorsque la quantification des effets des nouvelles technologies reste nécessaire pour construire des références régionales robustes	Si la quantification est secondaire par rapport au besoin de susciter l'adoption massive et rapide par un public le plus vaste possible
un dispositif EMP	un dispositif expérimentation paysanne
Parce qu'il est très important de produire des références communes afin de s'assurer de la fiabilité des alternatives technologiques	Parce qu'il est tout aussi ou plus important de fortifier le processus d'innovation des paysans que de produire de l'information technique fiable
Parce que on veut créer des espaces communs entre chercheurs, techniciens, paysans au travers de l'expérimentation	Parce que les agriculteurs semblent plus à même de développer rapidement des innovations que les chercheurs et techniciens
Parce que les professionnels ou leurs instances ne sont pas disposés à changer / remettre en cause de manière radicale leur mode de relation avec les paysans	Parce que la capacité d'accompagnement des structures de recherche est très faible (les paysans sont pratiquement livrés à eux-mêmes)

● **Les différents types d'expérimentation en milieu paysan**

Il n'y a pas bien sûr une seule manière de concevoir et de faire de l'EMP.

Ainsi, tester la réponse à une technologie sous des conditions variées de milieu physique ou humain est une démarche EMP commune, souvent connue sous le nom de *recherche multi-locale*.

Exemple de recherche multi-locale au Cameroun

La recherche cotonnière a procédé à une campagne massive pour calibrer la réponse locale du cotonnier à l'engrais dans le Nord-Cameroun entre la fin des années 80 et le début des années 90 moyennant la mise en place d'essais multi-locaux dans plus de 100 parcelles d'agriculteurs.

Une autre variante consiste à valider une technologie mise au point en station expérimentale ou hors du pays, par le biais d'un réseau d'essais chez les paysans dans le but de vérifier le caractère approprié de la technologie en question, et de pouvoir calculer sa rentabilité probable.

Validation d'une technologie de station au Sénégal

C'est le cas du travail conduit par l'IRHO, l'ISRA et la SODEVA au Sénégal pour tester un traitement némato-cide sur l'arachide, et en même temps comme un moyen de démonstration et de pré vulgarisation auprès des paysans (cité par de Ponteves et Jouve, 1990).

Dans les deux cas, le paysan chez qui est implanté l'essai est plutôt un collaborateur qui fournit au chercheur un morceau de terrain, de la main-d'œuvre et une possibilité de faire varier des conditions. Il n'est pas un partenaire qui participe véritablement à la prise de décision. Le chercheur et son institution sont donc les maîtres d'œuvre de la démarche EMP, ils déterminent les techniques à tester sans concertation approfondie avec les paysans.

Dans d'autres démarches EMP, le chercheur établit dès les premières étapes un véritable dialogue avec les agriculteurs et techniciens sur les problèmes à traiter, les objectifs à atteindre, les méthodes d'expérimentation puis l'évaluation des résultats. On entre alors dans le cadre de ce qu'on appelle souvent *la recherche ou l'expérimentation participative*, où agriculteurs et chercheurs mettent en commun leurs objectifs, leurs points de vue et définissent la façon de travailler ensemble.

La participation paysanne peut prendre une importance variable et se fonder sur des modalités diverses :

- > *expérimentation consultative* : thèmes et protocoles sont définis par les chercheurs ; les agriculteurs sont consultés, notamment au moment de l'évaluation des résultats des essais ;
- > *expérimentation collégiale* : thèmes et protocoles sont définis conjointement par les agriculteurs et les chercheurs. L'évaluation est une évaluation conjointe des résultats ;

- > *expérimentation paysanne (EP)* : ce sont les paysans qui fixent les thèmes expérimentaux et le type de dispositif qu'ils souhaitent mettre en place, avec un appui technique de la part des chercheurs. Dans l'évaluation des résultats, les critères principaux d'évaluation sont ceux définis par les agriculteurs.

Le programme IPRA du CIAT

Il fournit de nombreux exemples d'expérimentation participative et préconise la mise en place de comités d'expérimentation agricole locale ; ceux-ci mettent en place, en interaction avec les techniciens et chercheurs, des essais relativement simples sur des problèmes jugés prioritaires par la communauté (voir exemples dans Ashby et al., 2000).

Il y a donc de multiples modes et formes d'EMP, en fonction des objectifs poursuivis, de la phase de travail pendant laquelle l'EMP est mise en œuvre, et du degré de contrôle qu'ont les chercheurs, techniciens et agriculteurs sur le processus.

LA PLANIFICATION DU PROCESSUS D'EXPÉRIMENTATION EN MILIEU PAYSAN

La présentation suivante, en étapes, est linéaire, alors que le processus de planification est souvent itératif par nature : des éclaircissements sur certains points de la démarche amènent à remettre en cause un point que l'on croyait acquis.

● **Clarifier les objectifs**

Bien souvent quand un chercheur sort de la station de recherche, ou lorsque un technicien décide de se lancer dans une démarche EMP, les objectifs poursuivis sont multiples : il s'agit autant d'évaluer l'effet d'une technologie dans des conditions contrastées de milieu, que de préparer la diffusion massive auprès des agriculteurs d'une nouvelle variété ou d'un nouveau traitement herbicide, ou aussi de se donner un peu de recul pour comprendre ce qui ne va pas avec une recommandation.

De manière plus générale, les objectifs poursuivis peuvent inclure une ou plusieurs des catégories suivantes :

- > *création ou adaptation de proposition* : mise au point de solutions nouvelles aux problèmes que rencontrent les paysans ;
- > *réaction des paysans face à une innovation exogène*, appropriation de l'innovation et renforcement du dialogue chercheur-technicien-paysan ;
- > *pré vulgarisation* : validation des résultats proposés par la recherche ;
- > *connaissance ou diagnostic* : mise au point d'un référentiel technique ou identification de facteurs limitants.

S'il apparaît en général irréaliste de ne vouloir attribuer qu'un seul objectif à une EMP, il est cependant très important de pouvoir assigner un *ordre de priorité* aux différents objectifs que l'on prétend poursuivre, car le mélange des genres est souvent difficile à mettre en œuvre et se révèle finalement contre-productif. Un dispositif EMP tout à fait adapté pour poursuivre un objectif risque fort de se révéler fort inadéquat pour en poursuivre un autre.

Il faut s'assurer que l'identification des objectifs prioritaires se fait en concertation avec les principaux partenaires engagés aux côtés de la personne ou de l'équipe en charge de concevoir et mettre en place la démarche EMP. Il faut toujours envisager la possibilité que, peut-être, la meilleure façon d'aborder le problème à résoudre n'est pas de se lancer d'emblée dans une démarche EMP (voir paragraphe précédent).

● **Développer des hypothèses concrètes**

Il faut ensuite développer des hypothèses concrètes quant à l'expérimentation que l'on s'apprête à lancer.

Quel problème cherche-t-on à résoudre exactement ? C'est la première question à se poser pour identifier ces hypothèses. Est-ce un problème lié à une *pratique* inadéquate mais très ancrée dans la culture paysanne, comme par exemple le brûlis des résidus de culture et de la végétation avant le semis, ou est-ce plutôt une *condition de milieu* dont on cherche à s'affranchir : sols peu drainants, pentes fortes ? À moins que l'on ne cherche à transformer complètement un système de culture qui apparaît aujourd'hui inadapté : un système extensif avec jachère par exemple.

Il faut ensuite comprendre les causes du problème identifié : causes directes ou indirectes, liées à la technologie, à l'environnement ou au fonctionnement des systèmes de production. Et si possible il faut prendre en compte la dimension historique : est-ce un problème récent, comment a-t-il évolué au cours des dernières années ?

Une fois le problème et ses causes bien caractérisées, il s'agit de préciser les solutions qui pourraient permettre de résoudre le problème. S'agit-il d'une simple *adaptation des pratiques existantes* : changer la dose de fertilisant ou ses modalités d'application, remplacer une variété par une autre ? Ou s'agit-il d'*introduire une pratique nouvelle* : appliquer un herbicide dans un système où les seuls contrôles étaient un ou deux sarclages manuels ou mécaniques ? À moins qu'on cherche à *introduire un nouvel itinéraire technique* impliquant une série de changements quant aux modes de préparation du sol, aux dates de semis, à la gestion des adventices et de la fertilité ?

Tout aussi important que le type d'alternative, il faut aussi préciser la direction et l'importance des effets escomptés de ce changement. Est-il réaliste de tabler sur une augmentation des rendements ? Et dans ce cas, de quelle ampleur ? À moins que l'effet principal n'aille dans le sens de la diminution de la charge de travail ou de sa pénibilité ? D'une baisse des coûts ? D'une amélioration du milieu ? Ou qu'il implique de nouveaux modes d'organisation du travail ?

Les possibilités sont nombreuses, et il n'est pas rare que plusieurs effets à la fois soient à prendre en compte.

● **Identifier les partenaires et les clients**

Clarifier les objectifs et formuler des hypothèses n'est pas suffisant, il faut aussi identifier les partenaires avec qui la démarche EMP sera engagée, c'est-à-dire ceux qui travailleront en étroite collaboration avec l'équipe EMP³ et qui ont donc toute chance d'influencer significativement la démarche. Il faut aussi identifier clairement les principaux clients de l'EMP, c'est-à-dire les bénéficiaires directs ou indirects du processus EMP.

³ Il faut aussi, bien entendu, préciser la composition et le mode de fonctionnement de cette équipe EMP.

Partenaires et clients

Parmi les partenaires les plus communs, on peut citer les projets et services de recherche et de développement, le secteur privé, les groupements de producteurs et les réseaux formels ou informels d'agriculteurs avec lesquels l'équipe EMP a déjà l'habitude de travailler.

Parmi les clients, il y a bien sûr les paysans eux-mêmes, mais aussi les projets de recherche et de développement partenaires, qui souvent contribuent au financement du dispositif EMP et récupéreront toute innovation intéressante pour la diffuser à travers leurs propres réseaux de clients. À cela s'ajoutent les bailleurs de fonds et les gouvernements.

Bien souvent certains clients sont aussi des partenaires privilégiés de l'équipe EMP, ce qui est à la fois une chance et une source potentielle de conflit. C'est d'autant plus probable que nombre d'institutions impliquées dans la recherche-développement ont tendance à s'exprimer au nom de leurs clients paysans, encore trop souvent insuffisamment organisés et formés pour formuler eux-mêmes leurs demandes ou pour contribuer au financement de la mise au point d'innovations.

● Sélectionner les agriculteurs et les parcelles

Une fois clarifiés les partenaires et clients, il est nécessaire de procéder à une sélection rigoureuse des paysans chez qui se déroulera l'expérimentation. De nombreuses questions se posent. En voici quelques-unes :

- > les paysans et paysannes avec qui l'équipe EMP se propose de travailler sont-ils intéressés et motivés par les innovations proposées et par la collaboration ? Sont-ils ou sont-elles les mieux à même de tester les innovations spécifiques ?
- > leurs conditions de milieu sont-elles représentatives de celles de l'ensemble des clients ?
- > sont ils représentatifs des types d'agriculteurs qu'on souhaite atteindre ?
- > les conditions qui prévalent dans leurs parcelles vont-elles permettre de détecter les effets des traitements ? Par exemple, si l'essai vise à contrôler un type donné de mauvaise herbe, les populations de cette mauvaise herbe dans les parcelles d'essai doivent être significatives ;
- > l'accès aux parcelles est-il suffisamment aisé au cours du cycle agricole ?
- > est-il facile d'organiser des journées d'information dans leurs parcelles ?
- > leurs relations avec les paysans clients permettront-elles un dialogue ouvert et une diffusion horizontale aisée ? Si les autres paysans n'ont guère confiance en eux, tout enseignement tiré de ces essais risque d'être considéré avec beaucoup de méfiance ;

Si des doutes importants surgissent sur une ou plusieurs de ces questions, peut-être faut-il penser à développer un procédé formel de sélection de nouveaux agriculteurs et parcelles pour les essais EMP.

Une question souvent importante dans la sélection des agriculteurs est de savoir s'il vaut mieux expérimenter avec des *individus isolés* ou plutôt avec des *groupes d'agriculteurs*. Comme toujours, il y a des avantages et des inconvénients dans chaque cas.

Les groupes constitués ont souvent un pouvoir de convocation important auprès des autres agriculteurs, et possèdent fréquemment une routine de travail qui facilite

beaucoup la relation avec l'équipe EMP et minimise les probabilités d'abandon des essais en cours de cycle. Mais les groupes existants ne sont pas forcément très intéressés par les aspects d'expérimentation et d'innovation technologique, et certains d'entre eux peuvent avoir tendance à travailler en vase clos, sans ouverture sur le reste de la communauté. Par ailleurs, vouloir former des groupes nouveaux autour des seuls aspects d'expérimentation est souvent très coûteux en temps et pas forcément viable au-delà des premiers essais.

Probablement la meilleure attitude réside dans une approche pragmatique, qui examine au cas par cas les possibilités concrètes de travail, sans condamner d'avance toute possibilité de travailler avec des individus, ni voir dans le travail en groupe la panacée.

● Clarifier les rôles des partenaires

Les paysans sont choisis, les parcelles correspondent bien à la problématique à traiter. Il ne reste plus qu'à s'assurer que chacun des acteurs connaît parfaitement son rôle dans l'établissement et le déroulement des essais.

Des discussions sérieuses et préalables sont nécessaires pour déterminer avec le plus d'exactitude possible qui fait quoi : qui se procure les intrants ? Qui sème ? Qui fertilise ? Qui s'occupe du contrôle des mauvaises herbes ? Le paysan ? Le responsable de parcelle aura-t-il loisir de procéder à des ajustements de ses pratiques ? Qui notera les dates et modalités des opérations culturales réalisées ? Qui se chargera des observations sur la croissance et le développement des cultures ? Si le climat n'est pas favorable, qui prendra en charge les risques de mauvaise récolte ?

Une question, parfois épineuse et souvent débattue, concerne la rémunération des agriculteurs pour le temps qu'ils investissent dans la réalisation, la conduite, le suivi des essais et dans leur participation aux réunions de programmation, d'analyse, aux visites et échanges. Doivent-ils être rémunérés ? Qui doit l'être ? Quels montants ? Quelles formes de rémunération : en espèces, en nature, compensation d'autre nature (formation) ?

Les questions sont nombreuses, et les réponses possibles aussi, selon les objectifs poursuivis et les relations antérieures entre les paysans et l'équipe EMP. Certains techniciens ou chercheurs préfèrent contractualiser les engagements, d'autres font confiance au contrat moral. Le plus important est de ne pas laisser au hasard et à l'interprétation individuelle des uns et des autres les éléments essentiels dont on a besoin pour atteindre les objectifs fixés par le programme d'EMP. Si bien sûr la bonne volonté et le dialogue permettent souvent de résoudre les difficultés au fur et à mesure qu'elles apparaissent, il faut prendre soin de prévoir et négocier à l'avance *les réactions aux scénarios les plus communs* : sécheresse, dégâts par les prédateurs, maladie du responsable de parcelle ou du technicien, interférences d'autres membres de la famille ou de la communauté, mauvaise performance de la technique proposée, contretemps ou déficit d'organisation au niveau de l'équipe EMP.

La gestion du risque de ne pas atteindre les objectifs fixés ou d'obtenir des effets indésirables doit être traitée sereinement, même s'il est minime dans le cas d'EMP bien négociée entre tous les partenaires. Là encore, cela renvoie au climat de confiance entre l'équipe EMP et les paysans, au degré de maturité des uns et des autres.

● **Développer un protocole expérimental**

Les agriculteurs sont identifiés, les parcelles aussi, les rôles sont distribués ; il faut ensuite concevoir et se mettre d'accord sur le dispositif expérimental.

Il ne faut pas chercher à utiliser des recettes toutes faites ou des plans expérimentaux pour la seule raison que l'équipe EMP les maîtrise relativement bien⁴. Il faut toujours chercher à utiliser un dispositif optimum par rapport à la question spécifique posée, aux contraintes matérielles, aux conditions de milieu et aux possibilités locales. La *robustesse* d'un dispositif face aux aléas et sa *lisibilité* par les paysans constituent des atouts essentiels.

Ceci dit, avec la banalisation des ordinateurs, il est aujourd'hui possible de trouver des alternatives aux dispositifs traditionnels⁵ qui permettent des économies en espace⁶ ou qui exploitent la puissance des moyens de calculs disponibles⁷. Bien sûr, la valorisation correcte de ces dispositifs nécessite de pouvoir bénéficier des conseils d'un statisticien, et chacun devra décider jusqu'où il lui est possible de s'aventurer sans s'égarer.

Le choix du dispositif n'est pas la seule décision à prendre : il faut aussi définir clairement la façon dont seront gérées les conditions qui ne font pas partie des traitements expérimentaux. Par exemple, si l'EMP traite des effets de doses d'engrais sur le rendement, les conditions non-expérimentales incluent entre autres la variété, la date de semis, la densité, le contrôle des adventices. Si par contre le thème d'expérimentation concerne l'itinéraire technique dans son ensemble, il faut pouvoir préciser d'emblée les changements qui affectent les différentes opérations culturales. Dans tous les cas, décider ou non de standardiser les variétés ou les densités utilisées, les dates de semis, etc. a généralement une forte incidence sur la possibilité de comparer les résultats d'une parcelle à une autre et de pouvoir aboutir à des résultats statistiquement significatifs.

Enfin, on n'insistera jamais assez sur le fait qu'au-delà du choix des traitements et des dispositifs, un travail tout aussi important consiste à sélectionner avec soin les indicateurs et variables à évaluer au cours de l'expérimentation. Ces aspects sont traités plus loin.

● **Quelques considérations de logistique**

Dans la plupart des cas, la logistique influe fortement sur les décisions prises et sur la qualité des résultats obtenus. Il serait proprement insensé de structurer un dispositif EMP sans intégrer la dimension logistique dès la conception. Nous n'aborderons que quelques-uns de ces aspects dans ce paragraphe, de manière à illustrer l'attitude à avoir devant les contraintes de logistique.

Le *temps* est une des contraintes les plus fortes dans les démarches EMP. Parce que le temps est compté, il faut à tout prix éviter de *surdimensionner* les expérimentations : nombre d'agriculteurs et de parcelles d'essais, distances entre sites, quantités de variables à caractériser, doivent être calculés au plus juste afin de ne pas surcharger

4 Nous n'insisterons pas sur les aspects généralement bien traités dans les manuels sur l'EMP : nombre de traitements, nombre de répétitions, choix du témoin, choix du dispositif (voir par exemple GUILLONEAU, 1994 ou fiches pédagogiques : document CADEF).

5 Blocs dispersés, split-plots.

6 Dispositifs avec répétitions pour le seul témoin : CROSSA, 2000.

7 Dispositifs factoriels incomplets, analyse multivariable de l'interaction essai x milieu.

l'équipe EMP. Et il faut aussi savoir *déléguer les responsabilités* : pourquoi ne pas confier la responsabilité du suivi de routine des indicateurs d'enherbement ou d'humidité du sol au paysan responsable de l'essai ou à un(e) jeune du village plutôt que de vouloir tout faire soi-même ? Enfin, il faut rapidement *planifier dans le temps* les activités routinières du programme EMP : les visites périodiques des différents essais, les journées au champ, les récoltes, en prenant garde à toujours laisser une place suffisante pour le travail de bureau⁸ et pour les imprévus : recevoir les visiteurs envoyés par le projet, réparer le véhicule, aller se démener avec les autorités pour que le budget alloué soit effectivement débloqué.

La mobilité est une autre contrainte majeure : mieux vaut des sites groupés que des sites dispersés probablement plus représentatifs mais beaucoup plus difficiles à suivre. Et que dire des frais d'essence qu'occasionnent le suivi périodique de ces sites, qui seraient peut-être mieux employés à payer un autre technicien, ou à s'équiper en ordinateurs ou en instruments de mesure.

Finalement, et au risque de s'exposer au paradoxe, il faut autant que possible minimiser la probabilité que tout aille mal et prévoir l'imprévisible. D'où la nécessité de privilégier *la robustesse* des dispositifs à leur attrait scientifique, ce qui leur permettra de supporter sans dommages majeurs les changements de dernière minute ou la perte d'un site. Il faut aussi s'assurer que l'information essentielle sera disponible d'une manière ou d'une autre : il est donc utile de disposer de *plusieurs indicateurs ou variables qui se confirment l'un l'autre*, comme par exemple un suivi des opérations culturales par l'agriculteur doublé d'une enquête sur les pratiques réalisée par le technicien à la fin du cycle. Mieux vaut ne pas se fier aux indicateurs uniques qui, s'ils ne sont pas mesurés à temps ou correctement, se transforment en données manquantes ou ambiguës.

En somme, il faut tout faire pour que le dispositif EMP pâtisse le moins possible des conséquences sur le travail effectué des contraintes de logistique. Mieux vaut donc un dispositif modeste et bien conduit qu'un dispositif ambitieux mais fragile.

LE SUIVI ET L'ÉVALUATION DU DISPOSITIF D'EXPÉRIMENTATION

● *Les temps du suivi*

Quand et combien de fois est-il nécessaire de visiter un essai au cours d'un cycle de culture ? Il n'y a pas de réponse unique à cette question, puisque cela dépend en bonne partie des traitements expérimentaux particuliers comme des objectifs généraux poursuivis. Par exemple, il n'est pas nécessaire d'attendre la récolte pour déterminer si un traitement herbicide a pu contrôler une population d'adventices. Mais si l'objectif est de développer des relations de confiance et de former les agriculteurs à l'expérimentation, pouvoir visiter l'essai de manière rapprochée depuis le semis jusqu'à la récolte peut être indispensable.

De manière plus générale, chaque type d'essai et chaque type d'innovation impliquent des moments privilégiés particuliers pour observer et évaluer ce qui se passe.

⁸ Un jour par semaine au moins.

Ces moments sont dictés par les grandes étapes du cycle agricole et des pratiques culturales : préparation du terrain, semis, opérations de désherbage, de fertilisation et d'irrigation, initiation de la floraison, maturité physiologique, récolte.

Un suivi sur un pas de temps plus rapproché peut se justifier pour certaines variables comme l'évolution de l'humidité du sol, ou l'évolution du statut phytosanitaire d'une culture, mais ce n'est certainement pas une règle générale. Le temps étant souvent un des principaux facteurs limitants, il faut savoir doser son emploi avec parcimonie.

Tableau 2. Estimation grossière du nombre d'essais que peut suivre un chercheur ou technicien EMP

Exemples de thèmes d'expérimentation	Niveau de maîtrise de l'équipe EMP		
	Faible	Moyen	Fort
Introduction de nouvelles variétés	10 - 15	15 - 20	20 - 30
Effet de doses différentes d'engrais ou de fumure organique	6 - 10	10 - 15	15 - 20
Comparaison de plusieurs rotations ou d'associations de culture	3 - 5	5 - 8	8 - 10

Note: estimation faite en posant l'hypothèse que le chercheur ou technicien se consacre à cette tâche à temps plein et que les sites d'essai ne sont pas trop dispersés.

Enfin il ne faut pas oublier de dimensionner les essais au cours du temps : va-t-il falloir poursuivre les mesures au cours de plusieurs cycles agricoles parce que l'innovation ne produit pas tous ses effets immédiatement : essais de rotation ou de mode de préparation du sol, essais à base de plantes pérennes, etc.

● Les mesures et les observations

Certains techniciens disposent dans leurs archives d'une série impressionnante de fiches de mesure toutes prêtes qui leur permettent de caractériser de manière routinière une longue série d'indicateurs et de variables : émergence, population d'adventices, symptômes de déficiences minérales, hauteur de l'épi, rendement et ses composantes, analyse chimique du sol, coûts et temps de travaux, etc.

La règle d'or consiste à vérifier que toute mesure de routine conserve un sens par rapport aux objectifs particuliers de l'essai : il ne s'agit pas simplement de remplir des fiches parce qu'on en a l'habitude ou parce que quelqu'un a dit qu'il fallait le faire. Il faut d'abord déterminer les paramètres que l'on souhaite mesurer ou évaluer, en fonction des objectifs de l'essai, puis choisir les indicateurs que l'on utilisera et les mesures qu'on réalisera. Ne doivent être gardées que les mesures et observations dont on a absolument besoin soit pour caractériser les effets agronomiques ou économiques d'un traitement, soit pour différencier les effets d'un traitement par rapport à un autre, soit parce qu'elles permettront de procéder à des comparaisons entre sites ou entre années, si cela est pertinent.

La décision de procéder à une mesure *quantitative* ou *qualitative* et le *degré de précision* de ces mesures dépendent des objectifs poursuivis : a-t-on besoin de connaître le statut nutritionnel d'une culture en se basant sur les résultats fournis par un laboratoire d'analyse, ou peut-on se contenter de noter la présence de symptômes de déficiences minérales ? Est-il important de connaître la biomasse d'adventices, ou se contentera-t-on d'une simple note visuelle d'enherbement ?

De manière plus générale, la décision dépend étroitement de deux séries de facteurs : *facilité et pertinence* de la mesure sous forme qualitative et quantitative, et *capacité d'interprétation* ultérieure des résultats. Pourquoi passer par un laboratoire pour déterminer la texture d'un sol si, en fin de compte, on n'utilisera que trois grandes classes de texture (argileuse, intermédiaire, légère), facilement discernables par le biais d'un test tactile ? Pourquoi calculer les temps de travaux en heures et en minutes, si de simples indications du travail supplémentaire occasionné par la technique introduite permettent d'évaluer correctement la situation ?

Un critère souvent déterminant est le *coût* de chaque type de mesure : certaines mesures quantitatives sont très coûteuses sans pour autant apporter beaucoup à l'interprétation par rapport à de simples mesures qualitatives ou semi-quantitatives.

Savoir juger de la pertinence des mesures quantitatives

Un suivi de l'enracinement peut impliquer des prélèvements périodiques de cylindres de sol, mais parfois une observation structurée du profil racinaire fait tout aussi bien l'affaire si on a pris la précaution de mettre au point une série d'indicateurs dûment calibrés au préalable. Autre exemple : pourquoi vouloir à toute force effectuer une analyse chimique des sols s'il n'existe pas de bonnes références régionales qui permettent de calibrer les résultats, ou si le laboratoire chargé de l'analyse utilise des méthodes non adaptées ou douteuses ?

Il faut aussi pouvoir juger de la pertinence d'une dépendance forte vis-à-vis de l'extérieur, comme celle que peut représenter le prêt de certains instruments trop coûteux pour que l'équipe EMP puisse les acquérir, ou le passage par un service externe d'analyse de laboratoire.

● **L'évaluation par les paysans partenaires**

Il est toujours utile de procéder à une évaluation formelle des essais par les paysans partenaires, et c'est d'ailleurs là un des objectifs prioritaires de toute démarche EMP.

Pour ce faire, on peut élaborer des grilles d'analyse multicritères qui croisent les aspects techniques et les aspects socioéconomiques, tout en cherchant à anticiper sur les facteurs liés à la diffusion. On peut par exemple demander à un groupe de paysans ce qu'ils pensent d'une nouvelle variété : est-elle plus productive ? Son cycle est-il le même que celui des variétés locales ? Sa saveur est-elle agréable ? Quel serait le meilleur moyen de la faire connaître dans la région ?⁹

Les paysans peuvent aussi avoir plus d'initiative et déterminer eux-mêmes les critères et observations les plus marquants à leurs yeux. Dans ce cas le technicien joue surtout le rôle de facilitateur et synthétise les observations afin de détecter et ordonner au mieux les critères et perceptions des agriculteurs.

L'idéal est sans doute de croiser les deux approches, de confronter les évaluations du technicien et du paysan, et de dialoguer sur la base des différences ou contradictions qui peuvent apparaître à cette occasion.

⁹ Voir exemple dans IPRA, 1993.

De manière générale, l'évaluation par les paysans doit être préparée avec beaucoup de soin si on veut pouvoir en tirer un maximum d'informations. Trop souvent, on se contente de faire une enquête d'opinion superficielle et bâclée, qui n'apporte guère au processus d'EMP, si ce n'est l'alibi que les paysans ont été consultés.

L'ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION

L'essai a été établi, les variables ont été mesurées, l'évaluation avec les paysans a été réalisée : à ce stade bien sûr, les jeux sont en grande partie faits. Pourtant, il reste une étape essentielle, qui consiste à analyser et interpréter précisément les résultats, pour en tirer tous les enseignements possibles. Il est indispensable de penser à l'analyse des données dès la phase de conception du dispositif EMP¹⁰.

● **Un préalable : la saisie et le contrôle des données**

La mise en forme des données implique aujourd'hui essentiellement la constitution d'une base de données électronique. Dans la mesure du possible, il faut saisir soi-même¹¹ les données *au fur et à mesure* qu'on les recueille, afin d'être à même de détecter et de rectifier en temps réel les erreurs ou omissions éventuelles contenues dans les fiches de saisie au champ.

Une fois le fichier constitué, et avant toute tentative d'analyse, il faut s'assurer *qu'il est propre*, c'est-à-dire dénué d'erreurs grossières. Toute donnée erronée risque fort de contaminer l'analyse et l'interprétation et donc de la rendre caduque.

Le type d'erreur le plus commun est lié aux fautes de clavier ou de transcription. On peut aussi aisément se tromper dans une formule de calcul, dans les unités, lors d'une conversion, etc. Se poser des questions simples sur ses données peut grandement aider à expurger les fichiers de telles erreurs : par exemple, les données de densité se situent-elles toutes dans un intervalle réaliste¹² ? Les dates de semis correspondent-elles au déclenchement de la saison des pluies ? Les rendements sont-ils réalistes ? Ya-t-il systématiquement un coût de main-d'œuvre pour une application manuelle d'engrais ? De simples analyses graphiques sont aussi souvent très utiles pour détecter des données erronées ou douteuses dans les distributions.

● **Les analyses agro-économiques**

L'analyse *agronomique* est trop souvent reléguée au second rang ou réduite à sa plus simple expression : une mesure de corrélation statistique sans recul critique sur sa signification pratique. Parfois elle est tout simplement oubliée. Pourtant, seule la réflexion structurée sur les relations sols-plantes-climat-techniques permet d'orienter l'analyse des données et de donner leur sens aux relations existantes entre variables. C'est l'analyse de l'élaboration du rendement qui permet d'aller au-delà de la référence, omniprésente mais souvent insuffisante, aux effets des techniques sur le rendement.

10 Les manuels existants sur l'EMP couvrent en détail ces aspects, et le lecteur aura l'embarras du choix quant aux traités de statistiques appliqués à l'expérimentation agronomique (DAGNÉLIE 1998 par exemple).

11 Et non le faire faire à un tiers !

12 Entre 20 000 et 60 000 pieds par ha pour du maïs par exemple.

Combien d'essais montrent clairement une relation forte mais étrange entre la dose d'engrais et le rendement, relation qui pourrait pourtant s'expliquer si on s'était rendu compte que ce sont les différences de densité entre traitements qui sont à l'origine de cet effet ?

La *rentabilité* des nouvelles technologies constitue une autre analyse importante. Certains préconisent l'élaboration de budgets partiels¹³ qui ne prennent en compte que les coûts variables d'un traitement à l'autre. Ce genre d'analyse, très facile à mettre en œuvre, s'applique particulièrement bien aux essais de technologies simples : dose d'engrais, type de contrôle d'adventices. Elle est moins adaptée aux essais sur les systèmes de culture (rotations, introduction du semis direct) pour lesquels il faut pouvoir élaborer des budgets complets.

● **L'analyse des risques**

Un autre type d'analyse, rarement pratiqué, est celui des *risques* induits par la mise en œuvre des nouvelles technologies. Ceci implique d'aller au-delà des effets moyens et de prendre en compte les aléas climatiques et économiques, mais aussi les aléas liés aux conditions d'application des technologies testées : tous les agriculteurs seront-ils également capables de faire un traitement herbicide dans des conditions optimales ?

Il est aussi utile de disposer de séries de données au cours du temps qui permettent de reconstruire par exemple des *distribution cumulées* et d'y associer la *probabilité de pouvoir obtenir un niveau donné de rendement*. Il faut aussi pouvoir identifier les *seuils de risque* auxquels les paysans sont particulièrement sensibles : Combien d'années une famille est-elle capable de tolérer des rendements ou des marges en-dessous d'un certain niveau ? Quel est le niveau de dépense qu'un agriculteur peut consentir pour acheter des intrants ou un équipement ? Bien souvent, ces références impliquent des études approfondies au niveau des systèmes de production, et une équipe EMP isolée est rarement capable de produire seule ces informations.

● **Les analyses graphiques et statistiques**

Trop souvent, ceux ou celles en charge de l'analyse se précipitent sur les analyses statistiques de routine : tests de comparaison de moyennes, analyse de variance, régressions linéaires, etc.

Il est pourtant très utile de procéder d'abord à une analyse graphique des principales relations suggérées par l'analyse agronomique ou par l'expérience. Les graphiques permettent d'aller au-delà des simplifications induites par la comparaison de moyennes et par la signification statistique et facilitent la prise en compte des situations particulières. Ce n'est probablement pas un hasard si les deux ou trois parcelles avec les plus bas niveaux de rendement ont répondu mieux que les autres au fertilisant, mais si ces parcelles sont intégrées dans une tendance moyenne, cette vérité simple risque fort de passer inaperçue.

Une fois que des hypothèses robustes ont été dégagées grâce à l'analyse graphique, il s'agit de formaliser l'interprétation en procédant à une analyse statistique appropriée. Bien souvent les outils classiques¹⁴ peuvent être appliqués avec succès¹⁵.

¹³ Voir exemple dans CIMMYT 1988.

¹⁴ ANOVA, régression.

¹⁵ Robustesse face à la non-normalité.

Mais il ne faut pas oublier que les tests non-paramétriques et les analyses multi-variables peuvent avantageusement les remplacer, notamment pour les échantillons de taille réduite, lorsque les variables sont très nombreuses ou lorsque l'on doit analyser ensemble variables quantitatives et qualitatives. À ce stade, le technicien EMP doit souvent faire appel à un biométricien.

Enfin, après les analyses statistiques, le retour à l'analyse agronomique ou économique ou des risques permet de dégager une interprétation fondée sur des mécanismes biologiques ou sur des comportements humains. À partir de cette interprétation sera ensuite formulées une recommandation ou une réorientation des essais.

1er cas : un facteur à étudier - exemple : le facteur variété étudié par la comparaison de 3 variétés A, B et C dans un dispositif à 4 répétitions

schéma possible d'implémentation de l'essai si la parcelle est homogène : répartition au hasard des trials sur les 364 = 12 sous-parcelles

C	A	B	A
C	B	C	C
A	B	B	A

schéma possible d'implémentation de l'essai si la parcelle est hétérogène, avec par exemple une préférence de sol qui augmente du haut vers le bas de la parcelle : association de 4 blocs, chaque bloc étant une sous-parcelle homogène du point de vue de la profondeur du sol. Les différences de traitements sont analysées séparée au sein et dans chaque bloc

	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 4
haut de parcelle	C	C	B	A
	A	B	C	B
	B	A	A	C
bas de parcelle				

2ème cas : 2 facteurs à étudier - exemple : le facteur variété étudié par la comparaison de 3 variétés (A, B et C) et le facteur préparation du sol avec 2 variantes (culture à plat / culture sur billons) dans un dispositif à 4 répétitions

schéma possible d'implémentation de l'essai si la parcelle est homogène : répartition au hasard des combinaisons sur les 324 = 24 sous-parcelles

B - plat	C - billon	C - plat	B - billon	A - billon	C - billon
C - plat	A - billon	B - plat	A - plat	B - billon	B - plat
A - billon	A - plat	B - billon	C - plat	A - billon	C - billon
B - billon	C - billon	C - plat	B - plat	A - plat	A - plat

schéma possible d'implémentation de l'essai si la parcelle est hétérogène, avec par exemple une préférence de sol qui augmente du haut vers le bas de la parcelle : on sépare à nouveau 4 blocs

	bloc 1	bloc 2		bloc 3		bloc 4	
A - billon	C - billon	B - plat	B - billon	B - billon	C - plat	C - plat	B - plat
B - plat	C - plat	C - billon	A - plat	B - plat	A - billon	C - billon	A - plat
B - billon	A - plat	C - plat	A - billon	A - plat	C - billon	A - billon	B - billon

Les deux types de schémas précédents sont construits à titre purement illustratif pour être en phase avec l'essai (on ne peut dire l'un plus ou l'autre) et ne sont pas forcément à privilégier. Il faut tenir compte de la nature de la parcelle et de la nature des traitements à étudier. Dans le cas d'une parcelle hétérogène, il est possible de construire un schéma à blocs, mais cela n'est pas toujours possible. Dans le cas d'une parcelle homogène, il est possible de construire un schéma à blocs, mais cela n'est pas toujours possible. En ce qui concerne la répartition des traitements, il est plus difficile de changer de mode de préparation que de changer de variété sur des micro-parcelles, on peut être au hasard suivant :

➤ Figure 1. Dispositifs d'expérimentation en milieu paysan permettant une exploitation statistique des résultats

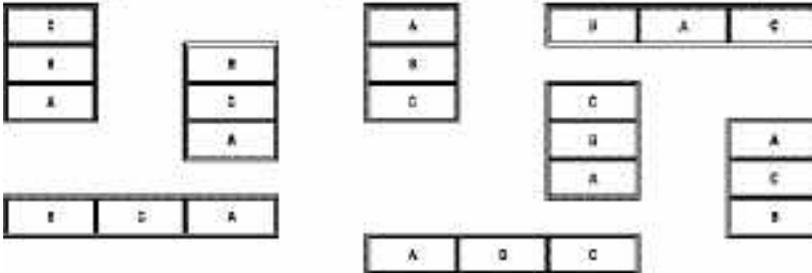
A - blé	C - pois	B - pois	B - blé	B - blé	C - pois	B - blé	B - pois
C - blé	B - pois	A - pois	C - blé	C - blé	A - pois	C - blé	A - pois
B - blé	A - pois	C - pois	A - blé	A - blé	B - pois	A - blé	C - pois

Ce type de dispositif est beaucoup plus simple à lire qu'un autre qui n'a pas été l'essai, notamment si des espèces (pois, blé, etc.) sont présentes de façon répétitive. Statistiquement, les résultats sont dépendants du type de sol pour la culture de pois et de blé (le facteur mode de préparation).

2. Expérimenter sur plusieurs parcelles et chez plusieurs agriculteurs

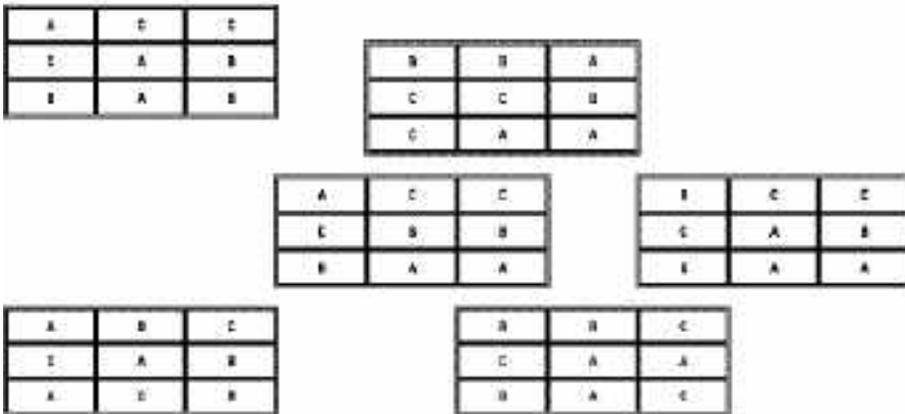
Il est très fréquent que les essais expérimentaux se déroulent sur des parcelles différentes appartenant à différents agriculteurs. En particulier ce cas d'expérimentation en blocs dispersés, chaque parcelle correspondant à un bloc. Si on ne souhaite pas mesurer les interactions entre les différents facteurs testés et si on ne souhaite pas vérifier si les facteurs testés ont des effets variables sur les différentes parcelles, il n'est pas nécessaire de faire des répétitions chez chaque agriculteur. Si par contre on pense que les facteurs testés peuvent interagir ou que les effets peuvent varier entre les différentes parcelles, il faut absolument faire des répétitions.

Exemple 1 : dispositif d'essai en blocs dispersés : 3 variétés testées chez 8 agriculteurs, sans répétition



Ce dispositif permet de dire si globalement, une variété se révèle supérieure aux autres ou non ; il ne permet de dire si les variétés se comportent de manière différente chez les agriculteurs.

Exemple 2 : dispositif d'essai en blocs dispersés : 3 variétés testées chez 8 agriculteurs, avec 3 répétitions



Ce type de dispositif, s'il implique un nombre suffisant d'agriculteurs, permet de répéter par exemple 30 des variétés nouvelles sans plus d'investissement que la variété utilisée couramment dans l'ensemble des situations rencontrées et au centre de cela ne sont intervenues que pour un type de sol ou un type d'agriculteur donné.

➤ Figure 1. (suite) Dispositifs d'expérimentation en milieu paysan permettant une exploitation statistique des résultats

● L'analyse des processus d'expérimentation

Dans bien des cas, l'analyse du processus d'expérimentation est au moins aussi pertinente que celle de ses résultats techniques. Elle permet de mieux préciser les causes de la réussite des résultats ou au contraire de détecter les failles qui peuvent être corrigées

et surmontées, ou enfin de bien mesurer les facteurs à prendre en compte si l'on veut amplifier les recherches EMP.

En se fondant sur les objectifs assignés au départ, il faut pouvoir évaluer formellement les conditions dans lesquelles s'est déroulé le processus. La division des responsabilités a-t-elle eu lieu comme prévu initialement ? Qu'ont appris les techniciens sur la façon de travailler avec les paysans ? Et qu'ont appris les agriculteurs participants ? Le degré de motivation, la confiance en soi ont-ils augmenté ? Les voisins ont-ils visité l'essai ? Certains d'entre eux se sont-ils proposés pour monter des parcelles d'essais chez eux lors du prochain cycle agricole ? Ou le font-ils déjà, à leur manière ? Sont-ils en train de copier tout ou partie de la technologie testée ? Ou au contraire leur scepticisme face aux interventions techniques du projet s'est-il renforcé ?

On pourrait décliner à l'infini les questions sur le processus. Cependant, si ces aspects n'ont pas été pris en compte au cours du suivi du dispositif EMP, il est souvent difficile d'aller au delà des simples impressions, ce qui réduit d'autant la capitalisation effective de l'apprentissage des processus.

L'UTILISATION ET LA VALORISATION DES RÉSULTATS

● *Quels résultats peuvent être valorisés, et par qui ?*

L'essentiel est maintenant réalisé : l'essai est terminé, les résultats analysés et interprétés. Il ne reste plus qu'à s'assurer que l'information produite au cours du processus EMP pourra être utilisée et valorisée au mieux par les différents partenaires.

Il faut donc une fois de plus revenir sur les objectifs fixés au départ et faire le tri au sein de l'information disponible afin de savoir quelles réponses canaliser vers quel public. Avec qui doit-on partager les résultats techniques ? Sont-ce les mêmes que ceux avec qui il faut pouvoir dresser un bilan du processus EMP ? Avec qui doit-on discuter de ce qui n'a pas marché comme prévu et doit-on en tirer des leçons afin d'ajuster le tir pour la prochaine campagne ? Il importe également d'adapter la présentation des résultats aux différents publics : un bailleur de fonds, un collègue sceptique ne réagiront pas de la même manière qu'un groupe d'agriculteurs qui ont participé aux essais ou qu'une assemblée communautaire intéressée par les recommandations pratiques.

La situation la plus navrante est celle où cette information reste cachée, anodine, sans autre utilisation que celle, informelle, individuelle et finalement confidentielle, que voudront bien lui donner ceux ou celles qui ont participé directement à l'essai.

● *Communiquer les résultats : comment, avec qui ?*

En supposant qu'une stratégie claire ait émergé des réflexions précédentes, il faut organiser la communication et prendre des décisions en conséquence (cf. le chapitre 33).

Qui va valoriser l'information disponible ? Si c'est généralement le technicien qui mobilise l'information, il est important de penser au rôle possible des agriculteurs participants dans la diffusion de l'information au sein de leurs réseaux de connaissances, mais aussi auprès des organisations de producteurs, des autorités locales, des organes de recherche et de développement.

Quelle doit être la part des supports écrits et audio-visuels ? Quels supports vidéos faut-il prévoir ? Cet outil de plus en plus répandu et d'un faible coût¹⁶ permet d'atteindre un large public pas forcément alphabétisé et se prête parfaitement à la restitution des apprentissages sur les processus. Il faut évidemment donner une large place aux échanges directs, aux restitutions et autres rencontres et communications orales qui ont le grand intérêt de permettre une rétroalimentation immédiate.

Dans chaque cas, il est impératif de garder en tête le public visé, et d'adapter soigneusement l'information et la stratégie de communication en fonction du but recherché. Ainsi, il faut éviter les excès de technicisme dans une présentation pour des agriculteurs, mais on ne peut oublier de donner les détails sur la méthodologie lorsqu'on s'adresse à des chercheurs ! On inclut des dessins, photos et témoignages pour les uns, et des graphiques et tableaux croisés pour les autres. On se reportera utilement pour cela au chapitre 33.

● **Quelle utilisation finale ?**

La boucle est dorénavant bouclée : l'essai est terminé et ses résultats et enseignements ont été partagés largement avec qui de droit. On est donc prêt pour un nouveau cycle d'expérimentation.

Mais attention, il ne faut pas oublier de rester très vigilants quant à la légitimité de la démarche EMP et il serait dangereux de poursuivre indéfiniment celle-ci sans considérer soigneusement après chaque cycle EMP les différentes possibilités : ce qui justifie effectivement d'être poursuivi dans le cadre EMP et ce qui mériterait d'être traité par d'autres voies. Il faut donc constamment être à l'affût pour détecter les questions et problèmes qui doivent être adressées aux chercheurs qui travaillent en milieu contrôlé, ou les questions qui doivent faire l'objet d'un travail de diagnostic et enfin les aspects qui relèvent dorénavant d'une démarche de développement : technologies prêtes pour une large diffusion, organisation des producteurs, formation, débouchés, etc.

EXPÉRIMENTATION EN MILIEU PAYSAN ET EXPÉRIMENTATION PAYSANNE

L'EMP reste un processus assez étroitement contrôlé et instrumentalisé par les chercheurs et techniciens. Au-delà de l'EMP, il est de plus en plus courant d'entendre parler de recherche ou d'expérimentation paysanne : les agriculteurs eux-mêmes, éventuellement aidés par des ONG ou des organisations professionnelles, y assument l'essentiel des responsabilités. Examinée sous l'angle des modalités de création et diffusion de l'innovation, l'expérimentation paysanne (EP) s'inscrit comme un nouveau maillon dans le *continuum* qui va de la recherche en milieu contrôlé à la recherche paysanne, en passant par la recherche en milieu paysan. Vue sous l'angle de la prise de décision et du rôle des agriculteurs dans le processus, elle se démarque de façon tranchée de l'EMP.

¹⁶ Pour peu que l'on dispose d'une caméra vidéo et qu'on ait pensé à filmer les principales étapes de l'essai.

● Pourquoi accompagner et appuyer les paysans qui expérimentent ?

De tout temps les paysans ont expérimenté et innové, le plus souvent silencieusement et sans revendiquer cette capacité d'innovation que tout le monde leur reconnaît. Parallèlement à ce constat, il est pourtant facile d'observer que ce potentiel est aujourd'hui peu valorisé par les équipes, les projets, les techniciens, la recherche ou par les institutions de services d'appui.

Depuis une décennie cependant, des individus, des équipes dans différents pays s'attachent à redécouvrir, voire à renforcer les capacités d'innovation des producteurs. Pourquoi ce renouveau ?

L'Etat se désengage et nombre de systèmes institutionnels de recherche connaissent des difficultés de fonctionnement de plus en plus importantes¹⁷. Dès lors les paysans se sentent encore plus isolés et livrés à eux-mêmes face aux problèmes de tous ordres qu'ils doivent affronter : technologiques, organisationnels, commerciaux, sociaux. Ils ne peuvent faire autrement que s'attaquer eux-mêmes à la mise au point de solutions à leurs problèmes : ils expérimentent.

La rencontre des paysans avec des structures d'appui technique qui reconnaissent leurs capacités et la légitimité de leur quête peut les encourager à revendiquer leur place, à poursuivre dans cette voie et contribue à formaliser leur recherche. La nouveauté pour ces paysans est bien de sortir d'une certaine confidentialité, ne plus tester et expérimenter de façon isolée mais en coordination avec d'autres paysans, dans un cadre institutionnel incitatif.

On observe aussi le cheminement inverse. De plus en plus d'individus et d'équipes sont convaincus de la nécessité d'associer les agriculteurs aux projets de création d'innovation tout en constatant amèrement le gâchis de systèmes de recherche agricole qui n'associent pas étroitement et intelligemment les utilisateurs à leurs travaux. Dans ce contexte, il existe des approches¹⁸ qui misent sur le droit à la parole et à l'action des agriculteurs, voire sur leur renforcement politique : *empowerment*. Ils ne sont plus considérés comme de simples utilisateurs d'information créée par d'autres, mais comme *des producteurs de connaissances et d'innovations*. Au-delà de la simple expérimentation technologique, on glisse peu à peu vers la construction sociale de l'innovation sous la houlette des agriculteurs.

Le tableau suivant propose une brève caractérisation de quelques-uns des principaux courants et approches qui accompagnent les efforts de ces agriculteurs-expérimentateurs. Evidemment, la liste n'est pas exhaustive. Malgré la courte histoire de l'EP, se profilent déjà de nombreuses écoles dont la grande diversité illustre les points de départs : technologie, institutions, types de régions cibles.

17 Pouvant même les conduire à la banqueroute.

18 Comme celles qui se sont inspirées de Paolo Freire en Amérique latine.

Tableau 3 : Principaux courants et approches centrés sur les agriculteurs-expérimentateurs

Approches	Institutions	Caractéristiques principales	Terrains privilégiés
PPB Participatory Plant Breeding	Réseau CGIAR	Généticiens et améliorateurs s'alliant avec les paysans pour la sélection variétale et l'amélioration génétique.	Un peu partout
FFS Farmer Field School	FAO	Renforcement des capacités d'observation, de compréhension et de recherche des agriculteurs à partir de leur formation à la lutte phytosanitaire intégrée.	Asie du Sud-est
PTD Participatory Development Technology	ErC Pays Bas	Intervention centrée sur les communautés des zones marginales dans laquelle des facilitateurs externes aident les agriculteurs à développer des alternatives agroécologiques à faible niveau d'intrants externes.	Afrique, Asie et Amérique latine
« Producteur à Producteur »	Divers	Promoteurs paysans qui suscitent par l'exemple l'innovation technologique et souvent organisationnelle. En règle générale appuyée par des ONG.	Méso-Amérique, Brésil
Modèle Agriculteur Expérimentateur	Coopératives agricoles, CGIAR	Renforcement des capacités d'innovation technologique de groupes de paysans en recherchant une interaction et intégration étroites entre les différents acteurs.	Amérique latine, Europe (CETA, GDA, CIVAM)

● Une définition de l'expérimentation paysanne

Il est utile à ce stade de définir l'EP pour la positionner par rapport à l'EMP :

Qu'est-ce que l'expérimentation paysanne ?

On peut qualifier d'expérimentation paysanne tout processus dans lequel une personne (femme ou homme) ou un groupe de personnes, s'engage seul ou avec l'aide de professionnels dans une démarche explicite de mise au point de solutions pour tenter de résoudre des problèmes concrets qui se présentent dans leur quotidien d'agriculteurs.

Cette définition souligne bien que l'EP est un processus formel d'expérimentation, même si la façon empirique de le conduire masque parfois cette formalisation pour l'observateur non averti. L'individu ou le groupe a une idée concrète sur le facteur qui peut être à l'origine de son problème, il invente un dispositif pour trouver des éléments de solution et vérifie si son idée était valable. C'est donc bien lui qui décide : *« j'ai observé ... je me suis rendu compte ... je pense que ... donc je vais faire »*. Ce n'est pas un événement fortuit qui provoque sa décision. Il ne se laisse pas guider par l'observation mais engage volontairement et consciemment l'obtention de réponses à son questionnement.

● **La prolongation de l'expérimentation en milieu paysan**

Dans l'expérimentation paysanne, la conduite du processus relève de la responsabilité et de l'initiative des paysans eux-mêmes, individuellement ou en groupe, et non plus ou très peu de celle des chercheurs ou vulgarisateurs. Les chercheurs et les techniciens participent aux activités des paysans et non l'inverse. Ce positionnement du centre de décisions chez les agriculteurs déclenche *des modifications en chaîne dans la conduite du processus EP* : choix des thèmes, emplacement des sites, prise de données, répartition des tâches, gestion de l'imprévisible dans les dispositifs, valorisation des résultats, circulation de l'information, gestion des échanges.

Les activités liées au processus EP impliquent le plus souvent l'interaction entre de nombreux partenaires (paysans, chercheurs, vulgarisateurs, formateurs...) qui peut donner lieu à un *contrat* entre eux. Dans les phases initiales, ce dernier est souvent tacite ; mais parfois il se formalise, signe que les parties concernées sont dorénavant capables de négocier.

Le travail du chercheur ou du technicien va lui aussi subir des *modifications importantes*. Il va devoir manifester des qualités d'écoute, de dialogue, de négociateur, de facilitateur, voire de médiateur, se montrer un véritable professionnel de la mécanique expérimentale (voir plus haut), savoir transformer les «erreurs» (inconscientes ou induites volontairement¹⁹), les innombrables «accidents» qui se produisent lors de la conduite des essais, en nouvelles pistes de recherche, être pédagogue.

Il doit également gérer des fonctions souvent nouvelles pour lui : modérer des discussions, obtenir des informations dans des domaines nouveaux, trouver des contacts, mettre en relation, fournir du matériel, des idées, des adresses ... La création d'un climat de confiance est un préalable indispensable.

Alors que l'EMP reste centrée sur les aspects liées à l'expérimentation, le processus EP se révèle une combinaison d'expérimentation, d'innovation, de communication et d'organisation.

● **Les échanges, un outil vital pour la capacité d'innovation**

Les échanges entre agriculteurs sont une modalité de travail très prisée des agriculteurs et se révèlent très efficaces pour dynamiser le fonctionnement d'un processus EP. Ils produisent des résultats nombreux : ils suscitent la curiosité et l'intérêt du visiteur, lui permettent d'identifier de nouvelles pistes techniques ou de nouvelles idées à tester, renforcent l'auto estime du visité, lui donnent l'occasion de formaliser et présenter ses résultats, renforcent le sentiment d'appartenance à un groupe de paysans novateurs, etc.

Ils peuvent se réaliser à de multiples niveaux : une localité, une région, un pays ou entre plusieurs pays. Ils peuvent se dérouler sur des pas de temps variables. Ils peuvent recouvrir différentes modalités : petits ou grands groupes, visites de simples parcelles d'essai ou de l'ensemble de l'exploitation où sont implantés les essais, échanges autour de parcelles et troupeaux ou en salles, rencontre exclusivement entre innovateurs ou, au contraire, entre familles.

19 Dans un groupe, il y a un souvent un paysan qui ne respectera pas le protocole de départ. Que faire ? Le réprimander ou détecter dans la «déviance» une source d'inspiration ? L'erreur est source de progrès, disait Lao-Tseu !

Tout échange entre agriculteurs-expérimentateurs est bénéfique. Ceci étant, leur organisation représente un coût en temps, en argent, en moyens, en énergie. Il s'agit donc non pas de se contenter d'organiser des échanges pour la simple raison qu'ils seront de toute façon productifs, mais d'optimiser les bénéfices engendrés par ces moments privilégiés de rencontre. Mieux vaut alors avoir présent à l'esprit un certain nombre de règles et de principes pour atteindre cet objectif.

Un échange comporte trois phases : avant, pendant et après la rencontre physique. Chacune d'elles a ses propres objectifs et règles, et les questions suivantes peuvent aider à mieux s'y préparer. Bien qu'elles soient formulées ici depuis le point de vue des visiteurs, elle peuvent et doivent aussi l'être à partir du point de vue des hôtes.

Les questions à se poser avant l'échange

Qui participera à l'échange? Que recherche t-on au moyen de cette visite ? Y-a-t-il des informations que les visiteurs peuvent connaître à l'avance sur la région ou la localité où l'échange aura lieu ? Que va-t-on chercher à savoir au cours de cette visite ? Comment s'organiser pour cet échange : distribution des tâches et des responsabilités, modalités de collecte de l'information ? Qu'est ce qui peut être apporté aux futurs hôtes ? Que faire de l'information amassée durant la visite ?

● **Pendant l'échange**

Une rencontre fructueuse se déroule en trois étapes. La première, la plus longue, est celle qui d'emblée, passionne le plus les participants. Les visiteurs écoutent, regardent, observent, sentent, s'imprègnent des nouveautés techniques qu'ils découvrent. Ils questionnent et veulent toujours en savoir plus. Ils décortiquent les essais paysans et s'intéressent à toute innovation mise en place par celui qui les accueille ou à toute technique qui leur est nouvelle.

La seconde étape est plus difficile à mettre en place. Il s'agit de réserver un moment en fin de visite pour que les visiteurs analysent, systématisent entre eux leurs observations, leurs remarques, leurs doutes voire les recommandations qu'ils peuvent formuler à leurs hôtes.

Dans la troisième étape, les visiteurs restituent aux accueillants le fruit de leurs commentaires, ce qui donne lieu à un débat entre les deux parties. Cette confrontation d'idées, de savoirs, de raisonnements se révèle en général particulièrement riche et utile. Elle touche plus des questions liées aux processus et au moyen terme. Mais elle est aussi la plus difficile à mettre en route, pour des limitations de temps et de fatigue des participants. Savoir les bousculer pour arriver à cette troisième étape est souvent laborieux mais toujours payant.

La richesse et donc l'efficacité de l'échange s'étoffe s'il sort du champ technique pour entrer dans l'univers culturel. Dans certains échanges, les accueillants font découvrir leurs plats typiques, leurs répertoires musicaux, leurs contes, danses, leur patrimoine architectural, touristique ou historique. Les horizons s'ouvrent et s'élargissent.

● **Après l'échange**

Au retour, le visiteur communique avec sa famille et ses voisins. En l'absence de stratégie de restitution, les choses en restent là.

Mais les visiteurs peuvent aussi organiser des sessions de restitution dans leur village, leur communauté, leurs groupements ou plus simplement alimenter leurs réseaux traditionnels de communication : conversations sur la place du village, au marché, etc. Dans le meilleur des cas, ils intègrent les résultats dans leur plan de travail : idées de choses à essayer dans les parcelles, formes d'organisation.

Un échange à double sens

Très souvent, les organisateurs et les accueillants consacrent toute leur attention aux visiteurs et s'oublient eux-mêmes. Pourtant échange signifie communication bilatérale. Si elle opère à sens unique, ses effets seront amputés, alors qu'elle peut être bénéfique pour les deux parties. Il suffit de le prévoir et d'organiser l'échange en conséquence.

● **Une démarche en construction**

L'EP en tant que démarche explicite de contribution des agriculteurs à la génération et diffusion des innovations en est à ses premiers pas. Il n'est donc pas surprenant que de nombreuses zones d'ombre subsistent : les résultats ou l'impact provoqués par les démarches EP ne convainquent pas encore les institutions de recherche, de développement ou les bailleurs de fonds, alors que l'engagement des organisations agricoles reste trop embryonnaire. La rigueur et «l'extrapolabilité» de nombre d'essais paysans restent souvent insuffisantes. Les éléments de quantification des coûts associés à la généralisation de ces démarches sont encore trop rares. L'EP court aussi le risque de devenir une nouvelle mode ou une recette à appliquer partout sans avoir les compétences requises ni l'environnement socio-politique favorable.

Last but not least, l'arsenal de technologies disponibles qui pourraient nourrir les démarches EP, reste souvent assez réduit.

UN CAS D'EXPÉRIMENTATION PAYSANNE EN AMÉRIQUE CENTRALE

Cette expérimentation a été mise en place par le comité local de recherche agricole *Superacion* de la communauté de Chixolop Baja Verapaz au Guatemala.

● **Repères historiques**

> 1991 : les autorités du Guatemala choisissent la région administrative de Baja Verapaz comme terrain d'intervention d'un projet de coopération externe pour appliquer un programme de recherche-développement qui associe chercheurs et vulgarisateurs. Le projet finance des sessions traditionnelles de formation de l'équipe vulgarisateurs-techniciens à l'approche système, ainsi que des activités d'expérimentation en milieu paysan et de vulgarisation.

- > 1992 : les vulgarisateurs formés partent à la recherche de paysans producteurs d'informations technologiques. Paysans et techniciens s'accordent sur le mot *agriculteur-expérimentateur* (A/E). Ils organisent des rencontres d'échanges de trois jours regroupant une soixantaine d'A/E. Au préalable, les techniciens ont procédé à un processus de sélection minutieuse des A/E, ont documenté les tests paysans et ont aidé les agriculteurs à présenter leurs travaux en public sous une forme où ils se sentent à l'aise et qui permet néanmoins la comparaison des expériences.
- > 1993 : les A/E volontaires se mobilisent dans leur communauté et réalisent leur diagnostic participatif ; à la suite de quoi ils décident de mener individuellement ou en groupe des essais avec l'appui d'un projet de coopération externe.

● Le cas de Chixolop

Chixolop est une de ces communautés. En 1994, un noyau d'A/E décide de former, avec l'aide du vulgarisateur du ministère de la zone, un comité de chercheurs paysans et le baptise *Superacion*²⁰. Ils sont cinq²¹ ; leurs fermes varient entre un et deux ha. Le comité loue une parcelle d'un demi hectare à un tarif relativement modeste dans le centre du village pour installer leurs essais alors que tous vivent et ont leurs propres parcelles dans les collines environnantes. C'est leur *centre expérimental paysan* (CEC). Suite à leur diagnostic et pour attaquer les problèmes identifiés, ils retiennent un certain nombre d'essais que le groupe s'estime en mesure de conduire et chacun se porte responsable d'un thème :

- > densité de peuplement de deux variétés de sorgho, *Mitlan* et *ICTA* (variétés améliorées produites par la recherche nationale) ;
- > détermination de la hauteur de coupe (à la machette) du sorgho en fin de première saison des pluies pour assurer une bonne repousse et un bon rendement à la fin du second cycle ;
- > comparaison de doses d'urée appliquée au moment de la repousse du sorgho ;
- > association *Canavalia* (*Canavalia ensiformis*) et sorgho pendant le premier cycle agricole pour favoriser une bonne repousse du sorgho de second cycle : essai sur trois ans ;
- > comparaison de cinq variétés d'arachide.

Dans le CEC, chacun des cinq A/E est responsable de la conduite de son essai (une parcelle de 20 x 5 m), sur un ou même trois ans. Certaines tâches sont assurées individuellement ou avec l'aide des quatre autres. En outre, chaque A/E cherche autour de chez lui trois ou quatre collaborateurs pour conduire dans leurs collines le même type d'expérimentation dans leur propre parcelle. Elle fonctionne comme une répétition.

Tout l'espace du CEC n'est pas occupé par les parcelles expérimentales paysannes. La partie restante est prêtée à un chercheur de la station de recherche voisine. Il y installe un essai de comparaison des densités de peuplement du sorgho *Mitlan* et de fertilisation azotée, avec un dispositif *ad hoc* fournissant des données complètes et détaillées.

²⁰ Dépassement.

²¹ Dont deux analphabètes.

Un certain nombre d'étapes ponctuent le travail du comité local de recherche agricole: planification, définition des protocoles des essais, choix du site et des parcelles, semis des essais ; conduite des essais ; visites entre les membres du comité et entre différents comités ; visite de l'équipe des chercheurs et vulgarisateurs qui ont décidé de les épauler ; prise de données ; activités de promotion et de diffusion auprès de la communauté ; récolte des essais ; analyse des données ; interprétation des résultats ; restitution au sein du comité et auprès de la communauté ; programmation du prochain cycle.

Chacune de ses étapes connaît des variantes : un semis, une récolte peut être effectué par l'A/E individuellement, par le comité ou encore par un ensemble de voisins²².

Le technicien joue un rôle capital dans l'accompagnement du groupe. Il entraîne dans la foulée son *compadre* de la station de recherche. L'association chercheur-vulgarisateur-comité A/E-communauté fonctionne.

Le sorgho *Mitlan*, base de la sécurité alimentaire avec l'indispensable maïs, se diffuse rapidement dans la communauté. L'arachide culture de rente se maintient ; l'intérêt des paysans porte plutôt sur l'utilisation de la matière organique dans les cultures²³.

Cet exemple met en relief qu'une partie des méthodes s'inscrit parfaitement dans la continuité de la démarche EMP.

En matière de diffusion, les outils et moyens utilisés sont ceux cités dans le chapitre 33. Il nous faut relever une modalité particulière et très efficace, les *échanges structurés* entre paysans expérimentateurs qui agissent également comme des communicateurs.

Un maître mot : la diversité

Le cas de Chixolop n'est qu'un exemple parmi tant d'autres. Le maître mot à retenir est diversité. Il n'y a pas de formules passe partout, standard, applicable en toute circonstance, tout lieu, avec tous types d'agriculteurs. À chacun d'adapter à son propre cas les grands principes !

UN ANTIDOTE CONTRE L'INERTIE ET LE SCEPTICISME

Il n'y a pas une, mais de multiples façons de concevoir ou de conduire un processus d'EMP ou d'EP, selon la place particulière qu'occupe l'EMP ou l'EP dans le continuum entre la recherche pure et le développement dans une région et à un moment donnés. De ce fait, l'EMP ou l'EP sont très complémentaires. D'autres démarches qui sont le plus souvent conduites de manière simultanée : recherche en milieu contrôlé, enquêtes, développement local, etc.

Comme pour toute démarche raisonnée, il est important de se poser dès le départ une série de questions afin de pouvoir tirer parti du potentiel de l'EMP/EP. Les questions de mécanique accaparent souvent l'attention des techniciens et professionnels, or ce sont les questions liées aux objectifs, aux partenaires et aux clients qui ont ou devraient avoir une influence fondamentale dans la structuration de la démarche.

²² Lorsque le responsable le décide car il considère ce moment comme particulièrement propice à l'échange.

²³ Dans une partie de sa parcelle d'essai « arachide », l'agriculteur avait appliqué une dose élevée de fumier.

Il faut aussi garder à l'esprit les limites inhérentes à ce type de démarche : elles sont loin de pouvoir tout résoudre. Les faiblesses liées au manque de rigueur et de savoir-faire, aux possibilités de confusions d'effets et à la difficulté de systématiser les différentes dimensions de ces démarches sont autant de pierres d'achoppement auxquelles peu d'équipes échappent et qui peuvent faire échouer même les meilleures intentions.

Pourtant, chaque jour, de nouvelles expériences et de nouvelles avancées prouvent que ce ne sont pas là des vices rédhibitoires. La réflexion honnête sur son expérience, les échanges sans concession entre équipes et projets, et surtout la motivation pour améliorer chaque fois un peu plus les démarches et les méthodes utilisées sont peut-être le meilleur antidote contre l'inertie et le manque d'imagination de ceux qui voudraient s'en tenir aux routines établies et devant le scepticisme têtu des tenants de l'orthodoxie scientifique technique ou sociale qu'effraie tout changement radical de paradigme.

Bibliographie

- ASHBY, J.A., 1990: *Evaluer des Technologies avec les paysans : un manuel*. CIAT-IPRA, Cali, Colombia.
- CIMMYT, 1988: *Manuel d'évaluation économique des essais agronomiques*. El Batán, Mexique.
- DAGNELIE P., 1998. *Statistique théorique et appliquée. Tome 1 - Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique*. Paris et Bruxelles, De Boeck et Larcier, 508 p.
- DAGNELIE P., 1998. *Statistique théorique et appliquée. Tome 2 - Inférence statistique à une et à deux dimensions*. Paris et Bruxelles, De Boeck et Larcier, 659 p.
- E. DE PONTEVES, P. JOUVE, 1990. *Expérimentations en milieu paysan en zones tropicales*. Collection « Documents systèmes agraires » N° 13. CIRAD DSA, Montpellier, France, 128 p.
- GUILLONEAU, A., 1994: *L'expérimentation en milieu paysan*. In : L'appui aux producteurs ruraux, Ministère de la Coopération / Karthala, pp. 100-124
- ILEIA. Bulletin sur agriculture durable avec peu d'intrants (LEISA). *Promouvoir l'innovation paysanne*. Décembre 2000 Volume 16 No 2 Leusden Pays Bas
- MERCOIRET M.R., 1994. *L'appui aux producteurs ruraux*, Ministère de la Coopération/Karthala. 463 p

Les associations et les successions de culture

À partir d'une contribution de C. Fovet-Robot (CIRAD)
et B. Wybrecht (GRET)

Les systèmes de culture mis en œuvre par les agriculteurs des régions tropicales sont souvent complexes : successions de plusieurs cultures dans l'année, associations de plantes dont l'architecture, le cycle et l'utilisation sont très diversifiés... Ce chapitre donne les définitions essentielles et des indications permettant de réfléchir au choix des plantes et des techniques dans le cadre de ces systèmes complexes.

LES DÉFINITIONS

Culture pure

On parle de culture pure lorsqu'une seule espèce végétale est cultivée sur une parcelle. Cette définition est sujette à discussion : selon les auteurs, on considère l'espèce ou la variété. Certains auteurs se fondent sur la variété : ainsi, une culture de maïs traditionnelle en Afrique serait une culture associée, parce qu'il s'agit bien souvent d'une population ou d'un mélange d'écotypes parfois très variés, voire de variétés. Nombre d'agronomes s'appuient plutôt sur l'espèce, d'autres parlent de production ou de culture, ce qui demeure ambiguë. Nous en resterons à l'espèce, critère de détermination assez pertinent pour les systèmes de culture traditionnels en régions tropicales.

Association culturale

Plusieurs espèces occupent la même parcelle, leurs cycles culturaux se chevauchent, sans pour autant être forcément plantées ou récoltées en même temps. Il y a cependant simultanéité globale dans le temps et dans l'espace. Les agriculteurs associent fréquemment des espèces à cycles de développement variés : plantes pérennes, semi-pérennes (bananier, canne à sucre, manioc, igname...) et annuelles. Elles peuvent être disposées *en étages*, avec des plantes hautes et basses : arborescentes, dressées, rampantes...

Les associations culturales peuvent être arrangées de façons diverses dans l'espace :

- > *de manière intercalée* : les différentes espèces sont organisées en lignes ou en bandes alternées, parfois dans le but de protéger les plantes contre le vent ou le sol contre le ruissellement et l'érosion hydrique ;
- > *en mélange* : dans ce cas-là il n'y a pas d'arrangement géométrique nettement observable.

Cultures en relais et culture dérobée

Une première culture est d'abord mise en place, puis une deuxième, alors que la première culture a atteint le stade reproductif mais n'est pas encore récoltée, puis parfois une troisième. Cela est possible lorsque la saison de culture est plus longue que le cycle de la production principale. *La culture dérobée* est le terme utilisé pour désigner la deuxième culture mise en place lorsque deux cultures sont implantées en relais : elle ne constitue pas la production principale.

Culture séquentielle

Plusieurs espèces sont plantées les unes après les autres pendant une année, sans que leurs cycles culturaux se chevauchent. Il peut y avoir ainsi de deux à quatre cultures dans l'année.

Culture multiple

Le terme *culture multiple* est générique et désigne tout système de culture dans lequel on cultive plusieurs espèces sur une même parcelle au cours de la même saison de culture ou de la même année : il englobe ainsi les cultures associées, les cultures en relais et les cultures séquentielles.

Monoculture

La monoculture est la répétition, pendant plusieurs cycles successifs, de la même culture sur la même parcelle.

Le terme monoculture est parfois employé à des échelles différentes : une exploitation ou une région peut être décrite comme pratiquant la monoculture de maïs ; cela signifie dans ce cas que la seule production végétale pratiquée dans l'exploitation ou la région est la production de maïs.

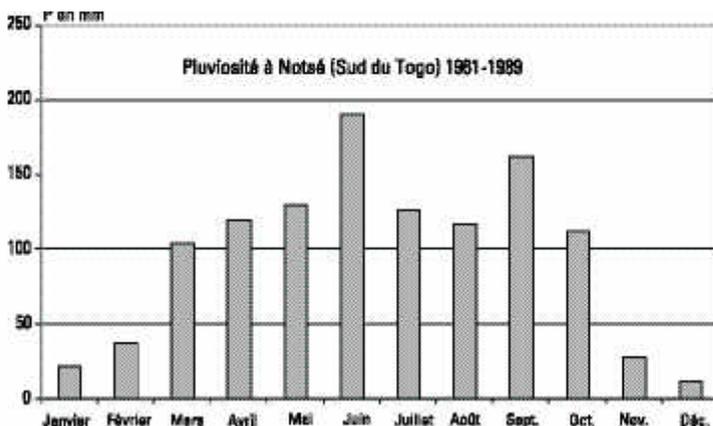
Succession et rotation culturale

La rotation est la répétition sur une même parcelle d'une succession ordonnée pluriannuelle de cultures. *A contrario*, si l'ordre et la nature des cultures ne sont pas conservés, on parle d'une succession de cultures.

Jachère

La jachère est l'état d'une parcelle de terre entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. Elle se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit. La jachère est un élément de la succession des cultures dans le temps et donc un élément du système de culture. Elle peut durer de quelques mois à plusieurs années.

La figure 1 illustre quelques unes de ces définitions dans le cadre des systèmes de culture pratiqués dans la région des plateaux au sud du Togo.



Succession de cultures pures	
Cultures en relais	
Cultures associées	
Combinaison d'associations et de cultures en relais	

➤ Figure 1 : Quelques exemples d'arrangements de cultures dans le temps dans la région de Notsé (sud du Togo)

LES SUCCESSIONS DE CULTURES

● Effet précédent et sensibilité du suivant

● L'effet précédent

L'effet précédent d'une culture est défini comme la variation d'état du milieu¹ entre le début et la fin d'une culture ou d'une période de jachère, sous l'influence combinée de la plante et des techniques culturales, l'ensemble étant soumis à l'action du climat.

Comprendre un effet précédent, ce n'est pas établir une relation de type statistique entre le rendement d'une culture et le rendement de la culture qui l'a précédée. C'est analyser la modification des paramètres physiques, chimiques et biologiques de la parcelle sous l'effet d'une culture².

¹ Caractères physiques, chimiques et biologiques.

² Une espèce ou association d'espèces cultivées avec un itinéraire technique donné et dans les conditions climatiques d'une année donnée.

On ne peut en conséquence définir l'effet précédent d'une espèce végétale : les modifications du milieu induites par une culture de manioc sont autant sinon plus liées à la façon dont on a cultivé ce manioc qu'au fait qu'il s'agisse de l'espèce *manioc*.

Par sa définition, l'effet précédent est indépendant de la culture qui suit. Ceci ne veut pas dire que toutes les cultures vont réagir de la même manière aux états du milieu liés à la culture précédente, mais qu'il faut pour comprendre les relations précédent/suivant introduire un deuxième concept, celui de sensibilité du suivant.

● La sensibilité du suivant

On la définit comme la réaction de la culture, avec les techniques qui lui sont appliquées et sous un climat donné, à l'état initial de la parcelle laissé par le précédent. Cet effet s'exprime en variation de rendement de la culture à ces états initiaux, variations strictement dépendantes du climat, des techniques utilisées et de leurs interactions.

Comme pour l'effet précédent, la sensibilité du suivant ne caractérise pas une espèce végétale mais une culture, c'est-à-dire une espèce ou association d'espèces cultivées d'une certaine manière. Les techniques utilisées vont en effet modifier en interaction avec le climat les états du milieu résultant de la culture précédente et donc limiter de manière plus ou moins importante l'impact de l'effet précédent sur la culture en place.

Comme pour l'effet précédent, l'expression de la sensibilité du suivant dépend en partie du climat. Selon les années, l'effet précédent et la sensibilité du suivant peuvent donc varier pour une même succession de culture.

Les effets des cultures sur le milieu peuvent être cumulatifs, dans le temps et dans l'espace. Il est donc souvent important de s'intéresser aux effets à moyen et long terme des successions de culture³ et aux effets de ces successions sur un ensemble de parcelles concernées.

La figure 2 illustre le type de relation que l'analyse de l'effet précédent et de la sensibilité du suivant cherche à mettre en évidence.

L'analyse des fonctions des jachères en milieu tropical est l'occasion d'illustrer l'intérêt de ces deux concepts.

● Jachères et fertilité⁴

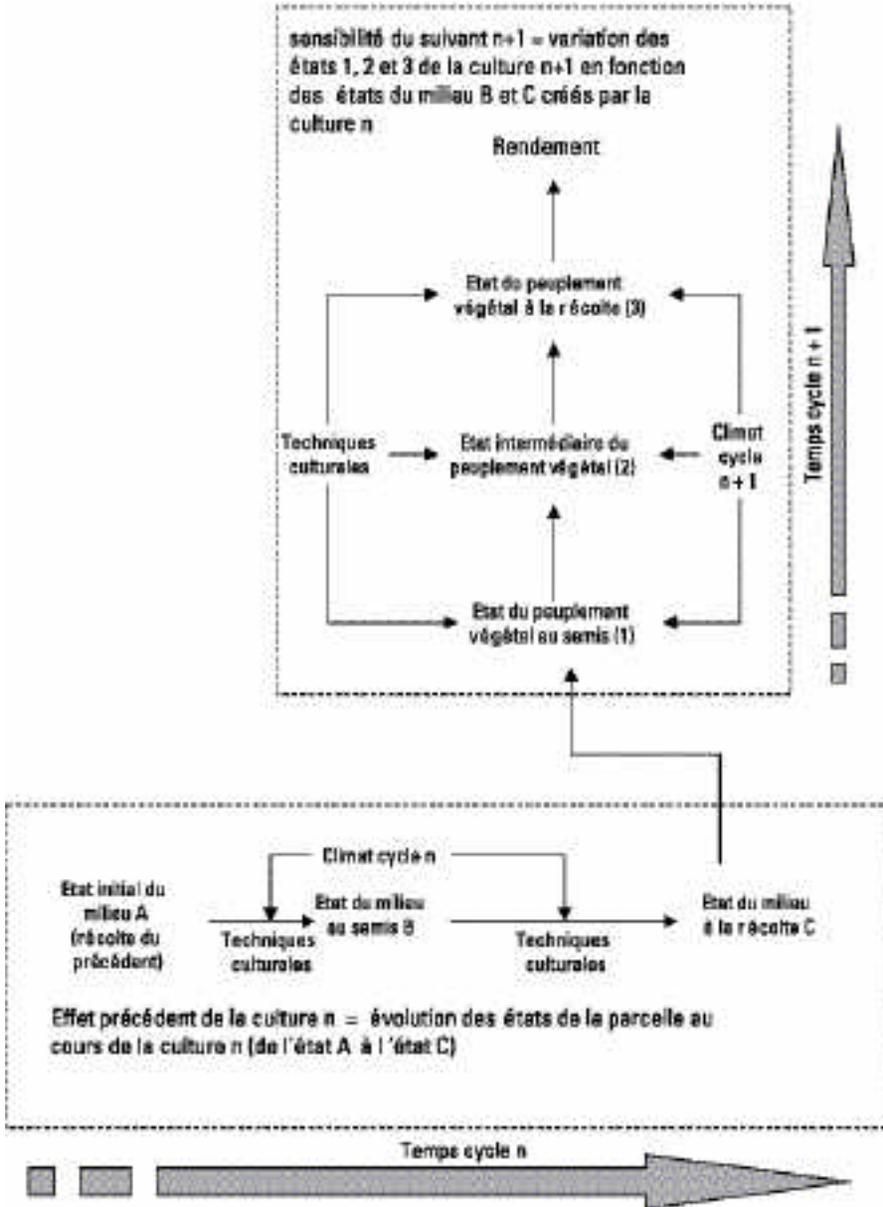
La jachère peut remplir de multiples fonctions dans les régions tropicales. Certaines n'ont pas de lien direct avec la fertilité du milieu : des parcelles peuvent être laissées en jachère pour alimenter des troupeaux ou parce qu'elles sont trop fréquemment visitées par les voleurs pour qu'on continue de les cultiver.

Nous présenterons successivement les différentes fonctions de la jachère en lien avec l'évolution des états du milieu cultivé. Le plus important à retenir est que dans une situation précise, la jachère ne remplit pas toutes ces fonctions mais uniquement certaines d'entre elles. Dans chaque situation particulière, il convient donc de mettre en évidence l'effet précédent de la jachère et la sensibilité des cultures pratiquées après

³ Création possible d'une semelle de labour, évolution du taux de matière organique...

⁴ Le terme « fertilité » peut être défini comme la capacité d'un milieu à produire. Il s'agit d'une notion relative, dépendant d'une part des fonctions productives assignées à ce milieu (que souhaite-t-on y produire ?) et, d'autre part, des techniques mobilisables pour transformer le milieu et de leur coût de mise en œuvre.

jachère par rapport aux transformations du milieu provoquées par l'absence de mise en culture pendant une certaine durée et les pratiques qui y sont liées : pâturage, feu de brousse, etc. L'analyse approfondie d'une situation est, en effet, le seul moyen d'aller au-delà des discours généraux et simplificateurs qui ne permettent pas d'aider les agriculteurs à transformer leurs systèmes de culture.



► Figure 2 : Effet précédent et sensibilité du suivant

● Les matières organiques dans le sol

La mise en culture d'un sol préalablement non cultivé entraîne en milieu tropical une chute rapide du taux de matière organique et une dégradation de l'état structural du sol. Les jachères courtes (quelques années) ne permettent pas de remonter le taux de matière organique de manière significative. Seule une jachère de très longue durée le permet à travers la constitution et la transformation biologique d'une végétation importante. Par ailleurs, d'autres voies sont fréquemment plus efficaces que la jachère pour stabiliser ou augmenter le taux de matière organique du sol : fertilisation organique, choix de cultures produisant une biomasse importante dont une faible partie seulement sera prélevée, etc.

Le taux de matière organique du sol n'est pas le seul indicateur. Il faut aussi envisager les rôles de la matière organique dans le fonctionnement de l'écosystème cultivé⁵ et apprécier la contribution des jachères au maintien et à l'amélioration de ces fonctions.

Bilan d'études réalisées au Sénégal sur l'effet des jachères courtes

Elles montrent par exemple l'impact de ce type de jachère sur la production de biomasse racinaire : alors qu'une culture de mil ou d'arachide produit environ 400 kg de racines, une jachère d'un an produit environ deux tonnes de racines et une jachère herbacée de 10 ans environ trois tonnes⁶. En fait, une grande partie de cette matière végétale ne participe pas à l'augmentation du taux de matière organique du sol mais est rapidement minéralisée et peut donc participer à l'alimentation minérale des cultures suivantes.

La dynamique des matières organiques dans le sol et le rôle que joue la macrofaune du sol (termites et vers de terre) dans cette dynamique sont encore mal connus (cf. le chapitre 433).

● Les éléments minéraux

En milieu humide et sub-humide, la végétation de la jachère va se développer rapidement et fixer sous forme organique des éléments minéraux puisés dans le sol ou dans l'air. La mise à disposition de ces éléments pour les cultures qui suivent les jachères nécessite leur retour sous une forme minérale (cf. le chapitre 433). Celle-ci peut se faire directement par brûlis de la végétation de la jachère ou indirectement par minéralisation de la matière organique provenant de la décomposition de la végétation. Les pratiques de destruction de la végétation de la jachère et de préparation du terrain pour la culture qui va suivre vont donc fortement influencer sur la disponibilité des éléments minéraux dans le sol après la jachère.

● L'enherbement des cultures

La jachère peut être ou peut ne pas être un moyen de lutte contre l'enherbement : une jachère longue, pendant laquelle un couvert arboré s'installe, peut réduire très fortement la pression d'adventices héliophiles.

5 Fourniture de nutriments par minéralisation, fixation d'éléments minéraux sur les complexes argilo-humiques, amélioration de la stabilité structurale.

6 Dans les trente premiers centimètres du sol.

En revanche, une jachère courteherbacée où dominent les adventices⁷ peut n'avoir aucun effet ou peut même rendre plus importants les problèmes de gestion des adventices dans la culture suivante.

Des recherches dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire ont permis de mieux comprendre l'effet des jachères forestières sur l'infestation par les adventices. Plusieurs éléments contribuent à l'efficacité de la jachère sur le développement des adventices :

- > l'ombrage empêche la germination des graines d'adventices photo-sensibles pendant la période de jachère ;
- > le stock de graines viables d'adventices diminue au cours des années de la jachère ;
- > le brûlis qui précède la mise en culture détruit la moitié du stock de graines d'adventices encore présent dans le sol ;
- > le port des variétés locales de riz (hauteur importante, nombre élevé de feuilles) et la rapidité de leur croissance sur défriche de forêt les rendent particulièrement compétitives par rapport aux adventices, qui se développent peu et mal en première année de culture.

● Parasites et ravageurs des cultures

Il s'agit là d'un domaine encore relativement peu exploré. Il est là aussi impossible de dire d'une manière générale que la pratique de la jachère limite le développement des parasites et des ravageurs. Chaque système de culture doit être raisonné individuellement.

Suivis des populations de Borer africain du riz⁸ à Madagascar

Ces suivis ont été effectués dans les périmètres irrigués du lac Alaotra. Ils ont montré l'intérêt de labourer la jachère qui sépare les cycles annuels de riz pour éviter le développement des borers dans les chaumes de riz laissés en place. Le même type d'observation lors des jachères courtes qui suivent la récolte du coton a conduit la plupart des structures de vulgarisation de la culture cotonnière à recommander l'arrachage et le brûlis des résidus de culture après la récolte.

La compréhension des fonctions agronomiques de la jachère dans un système de culture⁹ nécessite de prendre en compte des paramètres écologiques, les interventions humaines pendant la jachère (feux de brousse), le mode de défriche, le type de culture et les itinéraires techniques pratiqués par les agriculteurs.

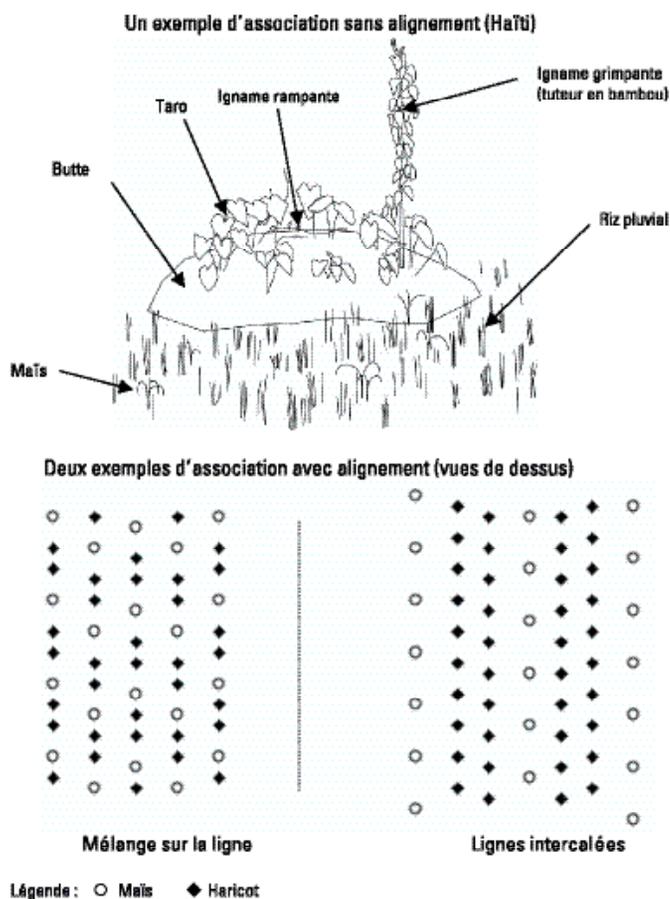
⁷ *Imperata cylindrica* par exemple.

⁸ *Malarphia separatella*.

⁹ Et donc des possibilités de le raccourcir, de le supprimer ou de modifier les pratiques culturales qui lui sont liées.

LES ASSOCIATIONS CULTURALES

La figure 3 présente quelques exemples d'arrangement spatial des cultures, avec des associations d'espèces annuelles. Mais on rencontre également fréquemment des associations d'espèces pérennes et d'espèces annuelles. Voici quelques éléments permettant de mieux comprendre le fonctionnement des cultures associées et de raisonner les possibilités d'amélioration.



► Figure 3 : Quelques arrangements de culture dans l'espace

● L'occupation de l'espace aérien et souterrain

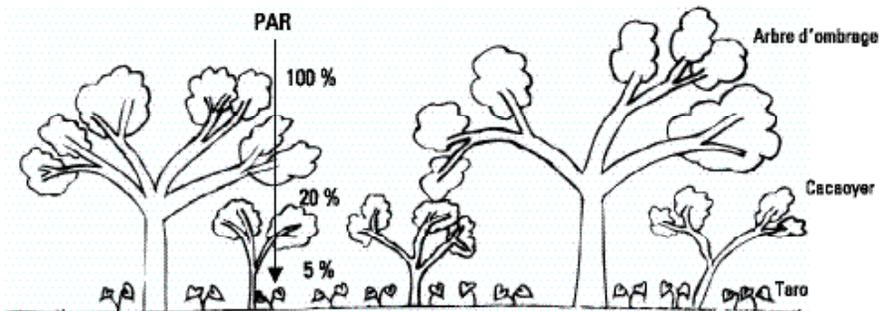
Lorsque plusieurs espèces sont cultivées simultanément sur la même parcelle, elles entretiennent fréquemment des relations de concurrence ou de complémentarité pour l'accès aux facteurs du milieu : eau, lumière, éléments minéraux. Les associations les plus intéressantes sur le plan agronomique sont celles qui, au niveau de l'espace aérien et de l'espace souterrain, valorisent des complémentarités et limitent les concurrences entre les espèces cultivées.

● Plantes d'ombre ou de lumière

Il est courant de dire que certaines plantes, comme le sorgho, sont des plantes de lumière et que d'autres, comme le poivrier et le macabo, préfèrent l'ombre. Quelle est l'explication physiologique de ces préférences ?

Toutes autres conditions étant égales par ailleurs¹⁰, les plantes cultivées se développent toutes mieux à la lumière qu'à l'ombre.

L'agriculture est basée sur la capacité des plantes autotrophes à utiliser le rayonnement solaire pour synthétiser des glucides à partir d'éléments minéraux et d'eau (cf. chapitre 414). Le rayonnement solaire est intercepté par le feuillage et fournit l'énergie nécessaire à cette synthèse. En conditions non limitantes d'alimentation en eau et en éléments minéraux, la quantité d'énergie disponible va avoir une influence déterminante sur la quantité de biomasse photosynthétisée. Or cette quantité d'énergie diminue très fortement avec l'ombrage. La figure 4 illustre ce phénomène dans une association entre arbres d'ombrages, cacaoyers et plants de taro : même sous des arbres à feuillage peu dense comme les légumineuses¹¹, 80 % du rayonnement photosynthétiquement utile (PAR) est capté par les arbres d'ombrage. Les cacaoyers reçoivent seulement 20 % du PAR et les plants de taro disposent seulement de 5 % du PAR. Taro et cacaoyers sont donc en situation où le rayonnement disponible est limitant pour la photosynthèse.



► Figure 4 : Quantité d'énergie active sur la photosynthèse (PAR) disponible dans une association taro-cacaoyer-arbre d'ombrage

Certaines espèces cultivées originaires de milieux ombragés régulent mal leur physiologie en fonction des disponibilités du milieu lorsqu'elles sont cultivées au soleil.

Un caféier cultivé au soleil produit plus qu'un caféier cultivé à l'ombre. Il peut même produire trop et finalement rapidement s'épuiser et mourir : il régule mal son fonctionnement physiologique lorsqu'il est mis en conditions d'éclairement non limitantes. L'ombrage est donc un moyen d'adapter la production photosynthétique aux disponibilités du milieu et d'éviter ainsi le dépérissement de la plante.

¹⁰ Température, alimentation en eau et en éléments minéraux.

¹¹ *Albizia sp.*, *Inga sp.*, *Erythrina sp.*

C'est pour cette raison qu'on recommande fréquemment de cultiver les caféiers sous ombrage lorsqu'ils ne sont pas fertilisés mais en pleine lumière lorsqu'on les fertilise de manière intensive.

L'interception du rayonnement solaire par un étage de végétation élevé modifie plusieurs paramètres climatiques au niveau du sol et des étages inférieurs de végétation.

Plusieurs facteurs climatiques sont modifiés par les arbres d'ombrage, et ce sont fréquemment ces modifications qui sont recherchées :

- > *modification du vent* : des arbres d'ombrage peuvent réduire de manière très importante les dégâts de vents cycloniques dans des plantations de cacaoyers par exemple ;
- > *modification de la température* : les écarts de température sont plus faibles entre le jour et la nuit lorsqu'il y a des arbres d'ombrage. Ceci peut limiter les effets négatifs de températures nocturnes trop basses ou de températures diurnes trop élevées ;
- > *modification de la demande évaporative* : la présence d'arbres d'ombrage augmente l'humidité de l'air au niveau des cultures. La demande évaporative climatique est donc plus faible au niveau des plantes cultivées. Les plantes considérées comme des plantes d'ombre sont en fait souvent des plantes qui ne sont pas capables de répondre à des demandes évaporatives intenses, même si elles sont correctement alimentées en eau. En plein soleil, elles grillent parce qu'elles ne sont pas capables d'évaporer suffisamment. Mais attention ! Cela ne veut pas dire que l'évapotranspiration totale du système *arbres d'ombrage/plantes cultivées* est plus faible que celle d'un système sans arbre d'ombrage ! Au contraire, l'ensemble a une évapotranspiration maximale plus élevée que celle d'une culture sans ombrage, car les arbres d'ombrage ont une évapotranspiration maximale élevée.

La modification de ces paramètres climatiques par la végétation d'ombrage modifie également l'influence des parasites, ravageurs et adventices des cultures. Cela peut être un effet positif sur la culture (comme la réduction de la pression parasitaire sur des cacaoyers), mais également un effet négatif (comme le développement de maladies fongiques sur des bananiers).

Les caractéristiques recherchées pour un arbre d'ombrage

- être suffisamment haut pour ne pas gêner la croissance des plantes ombragées ;
- avoir un tronc unique et élevé ;
- bien supporter les tailles et les élagages ;
- disposer d'un enracinement peu envahissant qui ne concurrence pas les cultures, profond pour chercher l'eau et les éléments minéraux à grande profondeur ;
- avoir un feuillage pas trop dense qui tamise la lumière : petites feuilles, feuilles composées ;
- éviter l'installation ou la propagation de maladies ou de ravageurs ;
- fournir des produits utiles : bois, fourrage, fruit... ;
- produire une litière organique importante.

L'optimum bioclimatique varie en fonction du stade de développement et du cultivar.

Au début de leur cycle de développement, les espèces pérennes comme le cacaoyer sont plus sensibles aux situations extrêmes (forte insolation) et il est fréquemment recommandé de les mettre en place sous des arbres d'ombrage qui pourront être éventuellement retirés par la suite. Il existe une variabilité importante des comportements entre les différents cultivars d'une même espèce. Le raisonnement d'une association n'est pas le raisonnement de l'association d'une espèce avec une autre, mais d'un cultivar d'une espèce avec un cultivar d'une autre espèce.

● **Occupation du sol, absorption de l'eau et des éléments minéraux**

Plusieurs facteurs interviennent dans l'établissement de relations de concurrence ou de complémentarité entre les systèmes racinaires de plusieurs espèces végétales cultivées en association.

● **La répartition dans le sol des systèmes racinaires des différentes espèces**

Elle est elle-même liée à plusieurs facteurs :

- > *le choix des espèces associées* : il est fréquent d'expliquer l'effet bénéfique d'une association par le choix d'espèces dont les systèmes racinaires explorent des volumes de sols différents. Les herbacées à enracinement fasciculé (céréales, bananiers) explorent les couches les plus superficielles du sol, les herbacées à enracinement pivotant (haricot, niébé, cotonnier) utilisent un volume situé un peu plus bas, et les espèces ligneuses pérennes explorent les couches profondes du sol ;
- > *le mode de semis* : le semis en poquets peut provoquer des phénomènes de concurrence entre plants d'une même espèce ou entre plants d'espèces différentes lorsqu'ils sont semés en poquets mélangés ;
- > *les caractéristiques du sol cultivé* : les caractéristiques du sol¹², modifiées éventuellement par les opérations culturales et les précédents, vont limiter les possibilités de développement des systèmes racinaires des espèces cultivées.

● **La répartition dans le temps des besoins des différentes espèces**

La concurrence entre espèces cultivées associées risque d'être d'autant plus forte que leurs périodes de besoin maximal coïncident. C'est un des éléments à prendre en compte dans le raisonnement des dates d'implantation des espèces associées. Mais il existe également des phénomènes de régulation dans certaines associations.

Les associations maïs/sorgho ou maïs/pois d'Angole

L'étude des associations de ce type montre que les espèces de cycle long (sorgho, pois d'Angole) régulent leur physiologie : le maïs se développe plus rapidement et domine dans l'association pendant toute la durée où il est photosynthétiquement actif ; sorgho et pois d'Angole croissent plus lentement pendant cette phase où ils subissent la concurrence du maïs que s'ils étaient cultivés en culture pure ; mais ils croissent ensuite aussi vite que s'ils étaient en culture pure. Au bout du compte, malgré des densités inférieures à celles pratiquées en culture pure, sorgho et pois d'Angole peuvent avoir des productions voisines de celles qu'ils auraient eues en culture pure.

¹² Profondeur, porosité.

● Les modifications du milieu

On observe parfois des phénomènes de toxicité (eucalyptus sur herbacées), avec de fortes variations liées aux variétés. Ils sont liés à l'allélopathie¹³, phénomène encore relativement peu étudié dans les agricultures tropicales. À l'inverse, l'association d'une légumineuse et d'une céréale permet à cette dernière de bénéficier d'une partie de l'azote fixé par la légumineuse.

● Les conséquences sur la gestion des associations culturales

Plusieurs types de techniques vont permettre de modifier les relations de concurrence ou de complémentarité au sein d'une association.

● *Le choix des espèces associées et des cultivars*

Le choix des espèces cultivées est très dépendant des conditions socio-économiques. Les considérations agronomiques ne sont jamais suffisantes pour justifier la culture d'une espèce donnée. En revanche, il est très important de bien choisir les cultivars : certaines variétés se prêtent mieux que d'autres à la culture en association¹⁴, et certaines variétés ont des effets dépressifs très importants sur les cultures qui leur sont associées. Un haricot grim pant peut par exemple étouffer un maïs en recouvrant toutes ses feuilles ; un maïs dont les feuilles gardent un port dressé gêne moins une légumineuse associée qu'un maïs dont les feuilles se mettent à l'horizontale. Les sélectionneurs ont commencé, notamment pour les légumineuses, à sélectionner des variétés se comportant bien dans les associations.

● *Le choix des densités et de l'orientation des lignes de plantation*

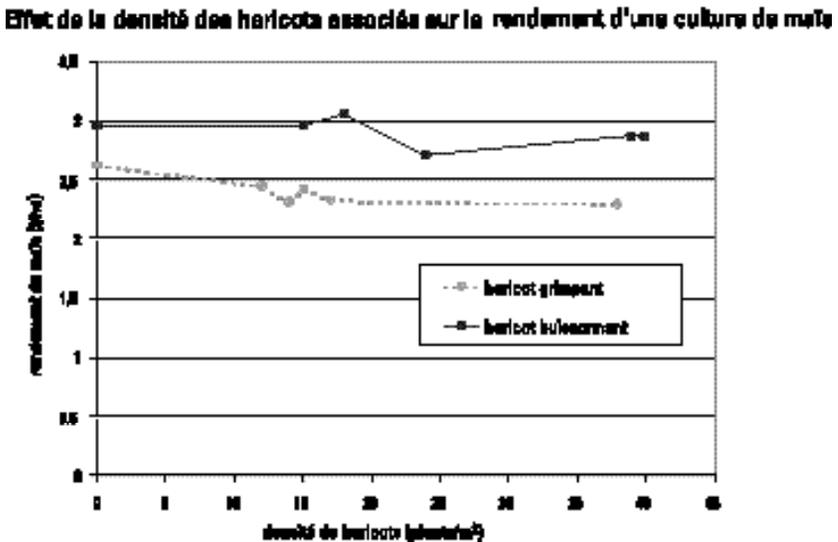
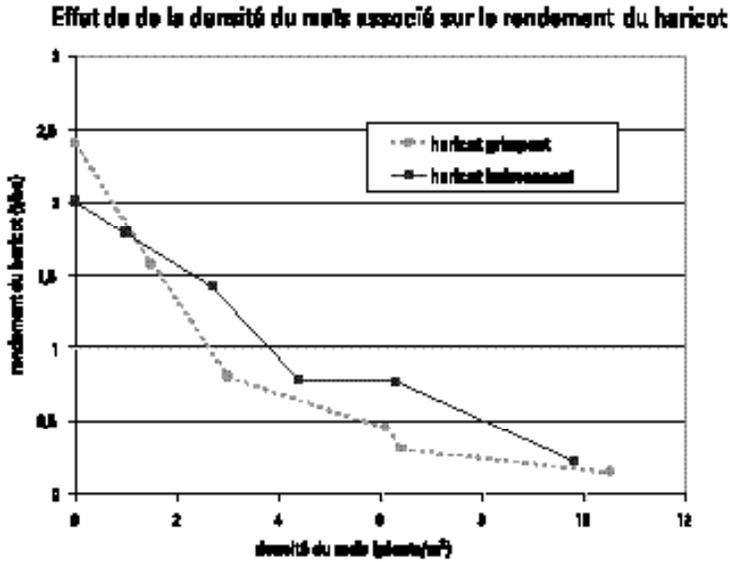
Le meilleur moyen d'obtenir avec une association culturale une production inférieure à celle obtenue en culture pure est d'utiliser les mêmes densités qu'en culture pure. Les niveaux de production intéressants sont généralement obtenus avec des densités inférieures à celles des cultures pures. Les graphiques de la figure 5 présentent des résultats d'essais faits en Colombie et illustrent l'influence réciproque du maïs et du haricot sur le rendement de la culture associée : le maïs est dominant dans l'association et son rendement est peu affecté par la densité du haricot ; mais le rendement du haricot décroît très fortement lorsque la densité du maïs augmente.

Il est important de noter que l'action sur les densités peut inverser les rôles de culture dominante et de culture dominée : si en général le maïs est dominant dans une association maïs/haricot, la pratique de densités très élevées de haricot (300 000 plants/ha) combinée à des densités médiocres de maïs (40 000 plants/ha) peut transformer le haricot en culture dominante.

L'orientation des lignes est importante pour les cultures associées semées en ligne alternées lorsqu'une espèce est plus haute qu'une autre. En effet, en milieu tropical, l'orientation est/ouest des lignes peut limiter fortement la concurrence pour l'énergie lumineuse exercée par la culture la plus haute. C'est un facteur important à prendre en compte lorsqu'on réalise des essais.

13 L'allélopathie correspond à l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts, qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant à leur voisinage ou leur succédant sur le même terrain.

14 En fonction notamment des besoins en énergie lumineuse, très variables par exemple entre différents cultivars de manioc.



► Figure 5. Influence réciproque du maïs et du haricot sur le rendement de la culture associée (essais réalisés au CIAT en Colombie)

● Le choix des dates d'implantation

Le choix des dates d'implantation des différentes cultures de l'association permet également de modifier les relations de concurrence entre les espèces. D'une manière générale, on obtient des productions plus élevées en décalant, si le climat le permet, les cycles des différentes cultures. Cela a par exemple été démontré lors d'essais sur l'association maïs/haricot en Colombie et sur l'association maïs/sorgho en Haïti.

● **Les autres éléments de l'itinéraire technique**

La taille, le tuteurage sur un autre support que la culture associée permettent de limiter la concurrence pour le rayonnement solaire.

La fertilisation peut déstabiliser une association en accentuant le caractère dominant d'une espèce au détriment de l'autre. Des observations de ce type ont été réalisées en Haïti sur l'association maïs/haricot dans une situation où le haricot est dominant : la fertilisation de l'association renforce cette dominance et nécessite pour être compensée une modification des densités des deux espèces associées.

● **Les effets des associations sur les pestes**

D'une manière générale, l'effet des cultures associées est différent selon le ravageur ou la maladie. Dans certains cas, la présence d'une autre culture constitue un obstacle ; dans d'autres, l'espèce associée peut constituer un hôte appréciable. Toutefois, on observe d'une manière générale que les attaques généralisées du champ sont plus rares dans les cultures associées, sauf pour les insectes non spécialisés comme les criquets. En lutte chimique, il est souvent difficile de trouver un herbicide qui soit compatible avec toutes les plantes d'une association.

L'association courante maïs/niébé est une manière de lutter contre deux ravageurs. La céréale fait obstacle à la progression des charançons du niébé. D'un autre côté, le niébé diminue les attaques de borers sur le maïs, et ce de façon d'autant plus efficace que la disposition des plants est en quinconce (alternance d'un pied sur deux sur la ligne et entre deux lignes).

Les végétaux du genre *Striga*, parasites du mil, du sorgho ou du maïs, sont nettement perturbés par la présence d'une culture associée à la céréale : arachide, autres légumineuses, plante rampante, plante de couverture. Cette action se situerait à trois niveaux complémentaires, combinant les effets du paillage, de la fertilisation et des plantes pièges :

- > l'abaissement de la température du sol, causé par l'ombrage, limite la germination des *Striga* ;
- > l'apport d'azote par les légumineuses est défavorable à leur développement ;
- > de nombreuses légumineuses sont des plantes pièges, c'est-à-dire qu'elles induisent la germination des *Striga* sans permettre leur fixation sur les racines. Certaines cultures de la rotation, comme le cotonnier, jouent aussi le rôle de plante piège.

Mais une association peut également avoir les effets inverses : le pois d'Angole attire les thrips et peut accroître les dégâts provoqués sur le niébé par ces insectes lorsque les deux légumineuses sont associées.

● **Les rendements d'une association culturale**

Comment comparer la production physique d'une culture associée à celle des espèces qui la composent, cultivées *en pur* ? La méthode des surfaces équivalentes relatives (*SER* en français et *LER* en anglais) est la plus employée pour répondre à cette question.

Elle consiste à déterminer pour chaque culture de l'association la surface qui serait nécessaire pour obtenir la même production en culture pure¹⁵ et à calculer le rapport : surface nécessaire pour obtenir la production en culture associée/surface nécessaire pour obtenir la même production en culture pure. Ce rapport est aussi égal au rapport des rendements : rendement en culture associée/rendement en culture pure. La SER est égale à la somme des rapports pour les différentes cultures de l'association.

Tableau 1. La SER d'une association maïs/niébé

Rendement maïs associé: 1500 kg/ha	Rendement maïs pur: 2000 kg/ha	SER maïs = 1500/2000 = 0,75
Rendement niébé associé: 400 kg/ha	Rendement niébé pur: 800 kg/ha	SER niébé = 400/800 = 0,50
SER total = SER maïs + SER niébé		= 0,75 + 0,50 = 1,25

Cela signifie que pour obtenir avec des cultures pures la même production totale que celle obtenue en culture associée, il faudrait 25 % de surface en plus.

Le calcul de la SER est donc un moyen de mesurer l'avantage relatif d'une culture associée par rapport à la culture de ses composants en culture pure.

INTÉGRER AU DÉPART LES SOUHAITS DES AGRICULTEURS

Le raisonnement des successions de cultures et des associations est un raisonnement local. Sa composante agronomique repose sur l'analyse des interactions entre les techniques, le milieu et les peuplements végétaux cultivés.

Il est important, quand cela est possible, d'intégrer une dimension de moyen et de long terme par la prise en compte d'effets cumulatifs : des phénomènes comme l'érosion des sols cultivés sont généralement sans conséquence immédiate sur les productions, alors qu'ils peuvent provoquer à long terme une dégradation du milieu et l'abandon de terres devenues improductives. Une partie de l'intérêt de certaines successions et associations culturales réside dans ces effets cumulatifs : amoindrissement de la dégradation chimique, physique ou biologique des sols cultivés.

Les avantages des successions et des associations culturales en terme de production physique sont nets. Pour les choisir, il convient de se rappeler que :

- > le choix des productions dans une exploitation est très largement dépendant de considérations qui ne relèvent pas de l'agronomie, ce qui signifie que les systèmes de culture qui se révèlent agronomiquement les plus performants ne sont pas forcément ceux que les agriculteurs ont intérêt à pratiquer ;
- > les considérations en termes de temps de travaux sont essentielles à prendre en compte ; elles expliquent en grande partie l'intérêt de certaines associations et successions culturales (en permettant par exemple de réaliser simultanément plusieurs opérations culturales : le sarclage d'une culture peut constituer la préparation du sol pour une culture en relais) ;
- > la gestion des risques économiques et climatiques est un élément important du raisonnement des associations et des successions culturales.

¹⁵ À niveau d'intensification égal.

La gestion du risque économique

Elle conduit les agriculteurs de la côte Est de Madagascar à mettre en place des systèmes associant dans les mêmes parcelles caféiers, bananiers et riz pluvial. En fonction des cours des différentes productions, l'agriculteur modifie l'équilibre entre les trois cultures : quand les cours du café baissent, il taille énergiquement les caféiers, sans toutefois prendre le risque de les arracher, et plante davantage de riz et de bananiers.

Les successions et associations culturales pratiquées par les exploitants familiaux des pays du Sud sont complexes à étudier et à améliorer¹⁶. L'intégration dès le départ des souhaits et des contraintes des agriculteurs est nécessaire pour bâtir un programme d'intervention pertinent. Le diagnostic agronomique et l'expérimentation en milieu paysan représentent deux outils de travail privilégiés, car ils permettent d'acquérir les références locales nécessaires à l'amélioration des pratiques des agriculteurs.

Bibliographie

- BALDY C., STIGTER C.J., CONESA, A.P. (préf.), *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*, INRA (FRA), 1993, 246 p. : ill., réf., tabl., graph., Collection Du labo au terrain.
- BEETS W.C., 1978. *Multiple cropping systems reviewed*. Span 21 (3) : 114-116.
- BILLEREY F., PILLOT D. (dir.), 1982, *Cultures associées en milieu tropical. Eléments d'observation et d'analyse*, Min. Coop. Dossier technologies et développement (FRA), Paris (FRA) : GRET, 1982, 76p.: graph., tabl., bibliographie.
- FLORET C. (prés.)/ SERPANTIÉ G. (prés.)/ JOUVE P. (collab.), 1993. *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Atelier International, Montpellier (FRA) 1991/12/02-05 ORSTOM, 494 p. : ill., réf., cart., tabl., graph. Collection ORSTOM Colloques et Séminaires (FRA)
- GRET, FAMV, 1994, *Manuel d'agronomie tropicale*. Paris, GRET, 490 p.
- SÉBILLOTTE M., 1985, *La jachère, élément pour une théorie*, in BLANC PAMARD C., LERICOLLAIS A., SAUTTER G. « À travers champs, agronomes et géographes », ORSTOM, Paris, Coll. Colloques et séminaires.
- STEINER K.G., 1985 *Cultures associées dans les petites exploitations agricoles tropicales, en particulier en Afrique de l'Ouest*, GTZ Eschborn (DEU), 347 p. : graph., tabl., cartes, plans, bibliographie.

¹⁶ Leur complexité est fréquemment supérieure à celle rencontrée dans les agricultures des pays développés où la motorisation a contribué à la simplification des pratiques culturales.

Les cultures pérennes et les systèmes agroforestiers

À partir d'une contribution de B. Tailleux (CIRAD)

LA GESTION DU CYCLE DES CULTURES PÉRENNES

● *La création d'un verger*

● **Choix des spéculations et stratégies patrimoniales**

Que ce soit en plantation industrielle ou familiale, la mise en place de cultures pérennes représente un investissement coûteux, même s'il correspond à la mise en valeur d'un terrain forestier n'ayant rien coûté au départ. Ceci s'applique aussi bien aux grands groupes indonésiens, titulaires de concessions accordées par l'État, qui peuvent se les faire retirer si des plantations n'y sont pas développées, qu'aux petits planteurs africains pour lesquels les cacaoyers notamment servent de *marqueurs de terre* (cf. chapitre 231).

Le choix des spéculations est un des éléments de la stratégie patrimoniale. Pour les grands groupes, il est directement influencé par les mesures incitatives mises en place par les États, notamment au travers des conditions d'accès à la terre. Pour les petits planteurs, ce choix est fonction des espoirs de recettes et de la facilité plus ou moins grande de créer le verger.

En Afrique, le cacao qui est moins exigeant en main-d'œuvre et qui s'intègre bien aux systèmes de culture traditionnels est souvent préféré au café robusta, sauf lorsque le prix d'achat comparé des produits penche en faveur de ce dernier. L'hévéa n'est développé qu'au voisinage des complexes agro-industriels, et souvent à l'initiative de ceux-ci, car il n'existe pas d'autre possibilité de commercialisation. Ceci n'est pas le cas en Indonésie, où existe tout un réseau de commerçants et d'usiniers indépendants, en mesure d'acheter la production des petits planteurs, où qu'ils se trouvent. Pour le palmier à huile, c'est l'inverse : la transformation artisanale des régimes a existé de tout temps en Afrique alors qu'elle est inconnue en Asie. Les petits planteurs de palmier indonésiens n'ont d'autre possibilité que de vendre leur production au secteur moderne, tandis que leurs homologues africains trouvent toujours à écouler leurs produits.

Le villageois qui installe une cacaoyère sur front pionnier consomme *une rente différentielle forêt*, c'est-à-dire qu'il bénéficie d'un capital de fertilité au départ, qui s'amoindrit au fil des ans. Il est beaucoup plus coûteux de replanter que de créer une cacaoyère. La pression parasitaire s'est accrue tandis que la fertilité du milieu a diminué. Ceci conduit souvent à l'abandon des vieux vergers.

Pour le palmier à huile, c'est l'inverse : il est beaucoup plus coûteux de créer une plantation sur forêt que de replanter une palmeraie, car il est nécessaire d'abattre intégralement la forêt (le palmier à huile est totalement héliophile). En outre, le propriétaire d'une vieille parcelle dispose, en Afrique, d'un capital progressivement constitué au fil des ans. Il s'agit de la sève contenue dans les stipes. La vente sur pied des vieux palmiers, d'autant plus chers qu'ils sont plus vieux (plus grands), paie la replantation de la parcelle, et au-delà.

● Des plantations pures aux agroforêts complexes

Il existe deux principaux types de plantations : les plantations monospécifiques ou quasi-monospécifiques, et les systèmes agroforestiers complexes, qui ne se rencontrent qu'en milieu villageois (cf. chapitre 411). L'objectif est, à chaque fois, d'optimiser le revenu sur le long terme.

Pour les plantations monospécifiques, ou quasi-monospécifiques¹, c'est le choix de la densité de plantation qui permet d'optimiser la production (et donc le revenu) par unité de surface. Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre la production par individu et le nombre d'individus à l'hectare. Ceci ne s'invente pas et n'a pu être déterminé que par des essais de densités, menés depuis plus de 50 ans par les instituts de recherche.

Tableau 1. Densité de plantation préconisées dans les conditions standards d'exploitation pour les principales cultures pérennes tropicales

Plante	Dispositif	Ecartement (m)		Pieds par ha
		de	à	
Caféier robusta	carré ou rectangulaire	3,0 x 2,5	2,5 x 2,0	1300 à 2000
Caféier arabica à port haut	carré ou rectangulaire	2,5 x 2,5	2,0 x 2,0	1600 à 2500
Caféier arabica à port bas	carré ou rectangulaire	2,0 x 1,0	1,0 x 1,0	5000 à 10000
Cacaoyer	carré ou rectangulaire	3,0 x 3,0	2,5 x 2,5	1111 à 1600
Hévéa	lignes	6 à 8 x 2 à 3		500 à 600
Palmier	triangle équilatéral	9,0		143
Cocotier grand ouest africain	triangle équilatéral	9,0		143
Cocotier hybride	triangle équilatéral	8,5		160

La variabilité et l'évolution des caractéristiques architecturales du matériel ainsi que celle des conditions écologiques du milieu² sont cependant susceptibles de remettre en cause ces résultats.

En milieu villageois, les plantations sont rarement monospécifiques. Celles qui le sont résultent généralement de l'action volontariste d'un service d'encadrement qui a imposé ses normes. C'est le cas notamment des *plans* palmier, hévéa et, dans une moindre mesure, café et cacao développés dans la plupart des pays d'Afrique tropicale humide au cours des décennies 60 à 90. C'est aussi le cas des plantations villageoises spontanées de palmiers à huile en Indonésie, par effet d'imitation des grandes plantations, et aussi parce que le palmier à huile se prête mal à l'agroforesterie.

¹ Présence d'arbres d'ombrage dans les caféières ou les cacaoyères industrielles par exemple.

² Développement de plantations dans des zones sub-optimales à marginales.

Pour le cacao, qui représente de loin le plus important verger de plantes pérennes en Afrique, les plantations sont rarement pures.

Le village de Ntsan, au Nord de Yaoundé (Cameroun), un cas très démonstratif

Dans les années 70, les cacaoyères procuraient la majeure partie des revenus monétaires des agriculteurs. À la même époque, les services d'encadrement et les missionnaires, dans un souci d'équilibre de la ration alimentaire, diffusaient des plants d'arbres fruitiers (notamment des mandariniers Satsuma).

L'effondrement des prix du cacao en 1987 et le développement de la demande alimentaire de Yaoundé incitèrent les villageois à commercialiser toute leur production fruitière pour compenser leur baisse de revenus. En 1998, plus de la moitié des pieds d'agrumes avaient moins de 10 ans (ils avaient été plantés après la crise), et étaient à l'intérieur des cacaoyères. Parmi celles-ci, les plus pures contenaient deux tiers de cacaoyers mais aucune ne possédait plus de 15 % d'agrumes. Ceci procède vraisemblablement d'une gestion du risque : les agrumes sont soumis à un phénomène d'alternance. Si certains agriculteurs déclarent gagner davantage avec leurs agrumes qu'avec leur cacao quand la production est bonne, il peuvent également se retrouver, certaines années, sans fruits à commercialiser.

En Asie du Sud-Est et dans le Pacifique les planteurs associent très souvent cocotiers et cacaoyers. Les cocotiers donnent de l'ombrage aux cacaoyers tout en procurant un revenu complémentaire au planteur que n'apporterait pas, par exemple, *Gliricidia maculata*. Si l'écologie est favorable (bons sols et bonne pluviométrie), aucune modification majeure de l'architecture et du développement des deux systèmes racinaires n'est provoquée par leur interaction physique : ils cohabitent et aucun phénomène d'allélopathie n'est observé (cf. chapitre 423). En l'absence de déficit hydrique prolongé, aucune différence dans la croissance ni dans la consommation en eau n'apparaît entre les plantes cultivées en association et les plantes en cultures pures. Par contre, lorsqu'un stress hydrique se produit, la croissance de la plante dont le système racinaire est le moins profond est affectée en premier lieu. Le cacaoyer n'est pas la seule culture associée au cocotier : le caféier, le bananier, l'ananas, le poivrier, le vanillier, les arbres fruitiers, l'ylang-ylang, le giroflier, le kava (*Piper methysticum*), sont fréquemment rencontrés. Ces associations améliorent la rentabilité de la cocoteraie dans laquelle le cocotier perd parfois son statut de culture principale.

Le jungle rubber indonésien

Parmi tous les systèmes agroforestiers tropicaux, l'un des plus complexes est certainement le *jungle rubber* indonésien. Ce sont des agroforêts où l'hévéa est combiné progressivement à une grande variété de plantes et d'arbres, étagés en plusieurs strates. L'hévéa a été introduit au début du siècle en Asie du Sud-Est dans des plantations en monoculture par des sociétés privées. Très rapidement, les petits planteurs se sont appropriés l'hévéa et l'ont organisé dans un système ne demandant que peu de travail et pas d'intrants. En effet, après une culture pluviale sur défriche, généralement le riz, l'hévéa est semé à forte densité puis laissé en concurrence avec la repousse forestière. Huit à quinze ans plus tard, le jungle rubber est constitué des hévéas survivants (300 à 500 arbres/ha) et d'autres arbres (entre 2 et 300 arbres/ha) dont certains ont une valeur économique (fruitiers et production de bois), ainsi que d'une végétation connexe qui fournit des légumes, des plantes médicinales, du rotin, etc. L'hévéa fournit la principale source de revenu du système (80 %), qui s'étend sur trois millions d'hectares. Mais sa faible productivité (500 kg/ha/an de caoutchouc sec), du fait de l'utilisation de plants issus de graines, le condamne à terme ; d'où les recherches en cours pour l'améliorer en introduisant des clones, beaucoup plus producteurs, tout en gardant un environnement agroforestier équilibré.

● **La notion de génération**

Elle fait intervenir deux facteurs :

- > la durée de vie productive des individus ;
- > les conditions d'exploitation du verger.

Pour un individu donné, une période immature et improductive suit la mise en terre du jeune plant. Elle varie d'une espèce à l'autre et selon que l'individu considéré est issu d'un peuplement naturel ou appartient à une variété améliorée. L'un des objectifs poursuivis par les sélectionneurs est, en effet, d'améliorer la précocité de l'entrée en production. Puis intervient une phase de croissance, jusqu'à ce que la plante atteigne sa pleine maturité, et son potentiel de production maximal. Enfin, après une période où la plante conserve ce potentiel, intervient la période de sénescence et la baisse graduelle de sa productivité.

Pour l'exploitant, la décision d'arrêter l'exploitation d'un verger de plantes pérennes et de mettre ainsi fin à une génération intègre différentes considérations, tant techniques qu'économiques. Toutes concourent à déterminer la rentabilité de cette exploitation, qui est comparée aux différentes opportunités offertes : renouvellement du verger, avec la même espèce ou avec une autre, utilisation du terrain à des fins non agricoles. Parfois des considérations de court terme s'imposent à l'exploitant, comme la nécessité de réaliser son capital pour disposer immédiatement d'importantes liquidités : abattage des palmiers pour la production de vin de palme, des hévéas pour la vente du bois... Il s'agit toutefois de cas assez rares.

C'est bien la baisse de rentabilité qui entraîne le plus fréquemment la décision de mettre fin à une génération. Cette baisse peut provenir de plusieurs facteurs : baisse des rendements, augmentation des charges, baisse de la valeur unitaire du produit. Mais elle ne suffit pas en soi. Encore faut-il qu'elle se conjugue avec l'espoir de meilleurs gains à tirer du même terrain. Sinon, comme cela arrive très fréquemment en Afrique chez les petits planteurs, il y a simplement abandon momentané du verger.

Les petits planteurs d'hévéas au Nigeria

Ce cas illustre bien ce type de situation : la guerre civile (1967-1970) puis le boom pétrolier (1973-1978) entraînèrent l'abandon de 60 à 70 % des petites plantations. Elles furent réhabilitées à partir du milieu des années 80, suite à la suppression du monopole d'exportation du caoutchouc et à la dévaluation de la monnaie nationale qui ont suivi la baisse des recettes pétrolières.

L'abandon peut parfois être définitif, sans qu'il soit mis délibérément fin à la génération précédente. C'est le cas des migrations cacaoyères : la vieille cacaoyère devenue improductive est abandonnée, la forêt reprend ses droits ou plus fréquemment d'autres exploitants occupent progressivement le terrain pour y pratiquer des cultures vivrières. De nouvelles cacaoyères sont créées au détriment de la forêt sur des fronts pionniers, par des exploitants plus jeunes... Mais cette pratique est condamnée à terme par la prise de conscience de la nécessité de protéger les derniers massifs forestiers. Le changement raisonné de génération restera bientôt la seule issue...

● **Le renouvellement du verger**

Le changement de génération intervient lorsque les conditions d'exploitation de la plantation ne sont plus satisfaisantes, et quand l'espoir existe d'améliorer les gains sur le long terme en procédant à la replantation ou à la diversification du verger.

Ce renouvellement peut être effectué soit individu par individu, soit parcelle par parcelle.

Le remplacement individu par individu se rencontre aussi bien en plantation industrielle qu'en plantation paysanne, où le renouvellement est souvent l'occasion d'introduire de nouvelles espèces.

Le village de Ntsan au Cameroun

Dix sept espèces d'arbres ont pu être identifiées dans une cacaoyère en renouvellement, en plus des cacaoyers et des espèces forestières. Ce type d'association découle du vieillissement des cacaoyers, de leur dépérissement, puis de leur remplacement par des agrumes, qui se trouvent alors occuper des plages formant des mini-vergers à l'intérieur des cacaoyères.

Le plus souvent, les plantations monospécifiques sont abattues, puis replantées. La décision d'abattre une parcelle n'est pas nécessairement fonction de son âge. Elle peut être liée à d'autres considérations techniques que la sénescence des arbres, comme des difficultés de récolte, ou à des considérations économiques. L'évolution des cours des produits agricoles peut en effet entraîner l'abattage d'une plantation en pleine production pour changer de spéculation, comme en témoigne le remplacement en 1988 en Côte d'Ivoire de cocotiers hybrides plantés en 1979 par des palmiers à huile sur une plantation d'un millier d'hectares, ainsi que la transformation récente en Malaisie et en Indonésie de parcelles d'hévéa en plantations de palmiers à huile.

À l'inverse, il est parfois possible de continuer à exploiter de manière rentable et à coût minimum (sans intrant et sans entretien) des plantations très anciennes, âgées parfois de plus de 50 ans.

Même dans le cas où les espérances de recettes sont voisines pour deux spéculations, le fait de changer d'espèce au moment de la replantation peut présenter des avantages. Un complexe parasitaire s'installe toujours au cours d'une génération de plantes pérennes. Procéder à une *rotation* en brise le cycle. L'hévéa par exemple n'est pas sensible à la fusariose qui attaque le palmier à huile en Afrique, ni au *Ganoderma* qui l'attaque en Asie, tandis que le palmier n'est pas attaqué par le *Fomes* auquel l'hévéa est sensible. Une telle politique de *rotation* entre palmier et hévéa par exemple n'est cependant possible que dans des régions où coexistent des unités de traitement pour chacun des deux produits.

LE MATÉRIEL VÉGÉTAL DISPONIBLE

De tout temps, et quel que soit son environnement technique et social, le planteur a fait de la sélection pour améliorer les performances des arbres qu'il cultivait, soit pour son autoconsommation et celle de sa famille, soit en vue de la commercialisation. Pour de nombreuses cultures pérennes et en particulier les arbres fruitiers, il est nécessaire de distinguer d'entrée de jeu deux grandes catégories : les fruitiers de case, apportant plus souvent un appoint dans l'alimentation familiale qu'un revenu réel et les grandes plantations dont le seul objectif est la commercialisation des produits au meilleur profit. Très souvent, ces grandes exploitations n'appartiennent pas à des planteurs mais à des sociétés. Entre ces deux extrêmes, on rencontre tous les intermédiaires de petites plantations villageoises (quelques ares à quelques hectares) où les marges de progrès en termes de conduite technique sont souvent importantes.

Les progrès de l'amélioration génétique, qui demande des décennies, de l'espace et des moyens financiers, sont avant tout destinés aux grandes plantations commerciales capables de valoriser au mieux l'investissement dans un matériel végétal de qualité, adapté à leurs besoins. Certains petits planteurs organisés peuvent parfois profiter, eux aussi, de ces semences ou de ces clones de qualité : cela dépend des disponibilités, de leur prix de revient, des ressources du planteur et de son encadrement technique.

● **Les objectifs de la sélection des cultures pérennes**

La production quantitative à l'hectare représente encore pour certaines filières la base du raisonnement de l'itinéraire technique : palmier à huile, hévéa, cocotier, etc.

Pour les fruitiers, la qualité des fruits produits, leur acceptabilité par le consommateur, leur état de conservation pendant le transport, leur arrivée au moment opportun (fêtes de fin d'année) sur les étalages du Nord (litchis) sont des éléments incontournables pour les marchés très concurrentiels sur lesquels ils se placent.

De plus en plus, la qualité³ allie les notions d'origine⁴, de techniques de récolte et de préparation⁵. On le voit bien avec les cafés gourmets ou les cacao de terroir.

Il y a enfin des possibilités avec la sélection de lutter, dans certains cas, contre des maladies ou ravageurs : hybrides de palmier à huile résistants à la fusariose en Afrique, arabica croisé avec des hybrides de Timor donnant une résistance à la rouille

3 Souvent encore mal définie.

4 Variété dans un environnement donné.

5 Fermentation, séchage, torréfaction, etc.

orangée, greffe d'arabica sur robusta contre les nématodes, clones de cacaoyer tolérants au *vascular streak disease*, greffes d'agrumes résistants au phytophthora, à la tristeza ou aux charançons.

On peut également jouer sur le type de porte-greffe chez les agrumes pour améliorer leur adaptation à un type de sol (sableux, lourd, calcaire), aux conditions de sécheresse ou de froid. Il faut pour cela partir d'une grande gamme de porte-greffe lorsque l'on rencontre simultanément plusieurs situations contraignantes ou des maladies d'association.

● **Les modes de reproduction**

On trouve parmi les plantes pérennes tropicales ou méditerranéennes cultivées à grande échelle, des modes de reproduction variés. Certaines en combinent plusieurs, d'autres n'ont qu'un seul mode de multiplication facilement utilisable :

- > *la graine* : hévéa (*seedlings*), palmier à huile, cocotier, cacaoyer, caféier (peu), théier, agrumes (limettiers et pamplemoussiers), anacardier, neem, muscade, giroflier, jojoba, etc.
- > *la bouture, la marcotte* : caféier, cacaoyer, théier, quelques agrumes, litchi, cannellier, giroflier, etc.
- > *la greffe* : hévéa (clones), caféier, cacaoyer, agrumes, anacardier, litchi, manguiier, avocatier, etc.
- > *le rejet ou drageon* : palmier dattier, chou palmiste, sagoutier, etc.
- > *le microbouturage* : hévéa, palmier dattier, caféier ;
- > *l'embryogenèse somatique* : palmier à huile, caféier, cocotier.

Les deux derniers types ne sont encore guère utilisés et le changement d'échelle se heurte, dans le cas du palmier à huile, à des problèmes justifiant des recherches complémentaires.

● **La composition du peuplement végétal**

Pour la plupart des espèces, le matériel végétal disponible, qu'il soit peu ou hautement sélectionné, peut être installé définitivement dans la parcelle prévue sans risque particulier. Par contre, pour d'autres, le fait qu'elles soient dioïques, dichogames ou incompatibles oblige à organiser la distribution des arbres sexués ou de plusieurs variétés ou clones dans la même parcelle :

- > *les espèces dioïques* : les organes mâles et femelles ne sont pas sur le même arbre : le palmier dattier⁶, le papayer, la muscade, le jojoba ;
- > *la dichogamie* : les organes mâles et femelles d'une même fleur ne sont pas fonctionnels simultanément et il faut donc planter en mélange au moins deux variétés : l'avocatier ;
- > *les incompatibilités ou auto-incompatibilités* entre fleurs femelles et pollen d'un même clone : c'est le cas de la plupart des criollo et des forastero chez le cacaoyer ;

6 Sa multiplication se faisant essentiellement par rejet, on peut à la fois choisir les meilleurs arbres femelles à multiplier et ajouter des pieds mâles nécessaires, à terme, à la fructification : 1 pour 40 femelles.

- > *la synchronisation des cycles d'inflorescences* : chez le palmier à huile, pendant les premières années de production, il peut y avoir des cycles longs d'inflorescences femelles synchrones pour tous les arbres du même âge, ce qui nécessite alors une pollinisation assistée.

● **Le matériel végétal sélectionné**

La création variétale ou clonale et la diffusion de matériel végétal sont parfois uniquement l'affaire d'organismes spécialisés. Dans certaines filières, elles peuvent être sous-traitées partiellement :

- > lorsqu'il s'agit du bouturage, de la greffe, de la marcotte, du drageonnage, et à condition d'acquérir la maîtrise technique nécessaire, la multiplication de sujets d'élite peut être envisagée sur l'exploitation même, au niveau de coopératives, de pépiniéristes, etc. C'est le cas pour la plupart des espèces pérennes dont il est question, si l'on ne cherche pas à planter un matériel exceptionnel pour lequel on ne disposerait pas des éléments nécessaires (porte-greffe ou greffons par exemple), qui sont obtenus dans des institutions spécialisées ;
- > lorsqu'il s'agit de planter des hybrides il faut, à chaque fois, repartir à la source et le planteur est dépendant des producteurs certifiés en termes de coût et de disponibilité spatiale et temporelle des produits. C'est le cas du palmier à huile, du cocotier et du caféier à moindre échelle.

Les performances de ces hybrides n'ont, en général, aucune commune mesure avec celles des individus provenant de la sélection massale traditionnelle : quantitativement les rendements peuvent aller de un à trois. Les grandes exploitations ont compris depuis longtemps qu'elles avaient tout intérêt à payer, même cher, un germplasm de qualité, d'autant plus qu'il est installé pour plusieurs décennies.

Il en est tout autrement pour les planteurs familiaux ne disposant pas de ressources monétaires suffisantes : la tentation est alors grande de se procurer des semences bon marché, soit en les récupérant dans les plantations d'hybrides installées⁷, soit en laissant pousser les graines d'hévéa (*jungle rubber* en Indonésie), soit en faisant confiance à des *producteurs de matériel végétal* peu scrupuleux qui se font passer pour de vrais (palmier à huile en Indonésie ces dernières années). Compte tenu de la durée du cycle des cultures pérennes, l'investissement en matériel végétal, par rapport à l'ensemble investi, est bien moindre que dans le cas de cultures annuelles performantes. Mais le retour sur investissement est également beaucoup plus lent.

Tout projet de plantation se prépare au moins un an à l'avance, comme il apparaît dans le tableau suivant.

⁷ Avec un potentiel réduit de 50 % environ dans le cas du palmier à huile.

Tableau 2. Temps nécessaire à la préparation d'une plantation

Espèce	Parc à bois	Propagateur/Germoir	Pré-pépinière	Pépinière
Caféier robusta	10 mois et plus	p	12 à 16 semaines	6 à 8 mois
Hévéa	1 an et plus	g	3 semaines	15 à 16 mois
Palmier à huile		g	4 mois	8 à 12 mois
Cocotier		g	4 mois	6 à 9 mois

LES TRAVAUX D'ENTRETIEN DES CULTURES PÉRENNES

En plus des entretiens classiques⁸, un certain nombre de travaux spécifiques concernent les cultures pérennes.

● Les différentes tailles

On les réalise chez les arbres et arbustes de dicotylédones pour améliorer la production, avoir des arbres réguliers et parfois pour faciliter la cueillette. Pour certaines espèces (giroflief), la taille est inutile ou a des effets négatifs.

● Les tailles de formation

Il s'agit de conduire l'architecture du plant dès son installation en plantation :

- > pour le caféier, il y a plusieurs méthodes : conduite en monocaulie ou en multicaulie après pinçage de la tige ;
- > chez le théier, un passage annuel pendant 3 ans pour favoriser la pousse des rameaux secondaires et tertiaires ;
- > pour le cacaoyer, c'est essentiellement des égourmandages : élimination des rejets à la base du tronc ;
- > chez les agrumes, le litchi, le manguier, l'avocatier, on sélectionne quatre à cinq branches charpentières au-dessus d'un tronc court ;
- > pour l'hévéa les seules interventions consistent à ébourgeonner le tronc jusqu'à 2,5 m de haut pour éviter les branches trop basses.

● Les tailles d'entretien

- > égourmandage trois ou quatre fois par an chez le caféier et le cacaoyer ;
- > taille de production du théier tous les deux à cinq ans afin de ralentir l'élévation de la table de cueillette ;
- > suppression des ramifications surnuméraires à l'intérieur de la frondaison chez les agrumes et l'avocatier.

⁸ Désherbage, fertilisation, contrôle sanitaire, éventuellement irrigation.

● L'écimage

Il se pratique parfois chez le caféier, chez l'avocatier dès qu'il dépasse 4 à 5 m de haut, chez l'ylang-ylang, exceptionnellement chez l'hévéa pour réduire les risques de casse au vent.

● Le recépage

Le recépage permet une restauration de l'architecture de l'arbre après quelques années de production :

- > pratique courante chez le caféier (tous les cinq à douze ans) qui permet de retarder considérablement la replantation à condition que les plants soient vigoureux ;
- > également chez le théier (0,35 m du sol) suivi de nouvelles tailles de formation ;
- > chez l'anacardier après vingt à trente ans.

● L'élagage ou toilette

Cette technique consiste à couper les palmes sèches ou encore fonctionnelles mais gênantes pour les opérations de récolte. L'élagage est pratiqué une à deux fois par an, systématiquement chez le palmier à huile et le palmier dattier⁹. Il est inutile chez le cocotier, dont les palmes se détachent spontanément du stipe quand elles sont sèches.

● L'ablation (ou castration) de jeunes inflorescences

L'objectif est de garder un bon équilibre entre l'appareil végétatif et la production au cours des premières années, en réorientant la matière sèche produite par la photosynthèse.

- > chez le palmier à huile, en particulier dans les zones les plus contraignantes (avec déficit hydrique), on supprime toutes les inflorescences qui apparaissent à l'aisselle des feuilles pendant six mois à un an ;
- > chez le palmier dattier, on pratique une ablation progressive en fonction de l'âge : jusqu'à six ans, suppression de toutes les inflorescences, puis ablation partielle. Le ciselage élimine également des pédicelles vers le centre du régime afin d'améliorer la maturation du régime.

● La pollinisation assistée

Elle est pratiquée lorsqu'il y a insuffisance de pollen dans la parcelle chez les palmiers à huile et dattier :

- > pour le palmier à huile, il peut y avoir dans les premières années de production, un trop faible nombre d'inflorescences mâles ou d'insectes pollinisateurs, ce qui justifie une pollinisation manuelle avec visite de chaque arbre deux fois par semaine compte tenu de la durée d'anthèse des inflorescences femelles (trois à quatre jours) ;
- > pour le palmier dattier, dioïque et à pollinisation anémophile, pour atteindre un taux de nouaison des fleurs supérieur à 60 %, on a également intérêt à pratiquer cette technique.

⁹ On élimine également les spathes des inflorescences et les pédoncules des régimes.

LES CARACTÉRISTIQUES DE LA RÉCOLTE

Les produits récoltés sur les cultures pérennes sont extrêmement variés :

- > *fruits frais* : agrumes, mangue, avocat, noix de coco, papaye, litchi, mangoustan, durian...
- > *fruits séchés* : dattes, anacarde, châtaigne du Brésil...
- > *boissons ou produits stimulants* à partir de fruits (café, cacao, guarana, noix de colatier), de feuilles (thé) et après transformation ;
- > *huiles* : palmier à huile (huiles de palme et de palmiste), cocotier (huile de coprah), karité ;
- > *caoutchouc* (latex) de l'hévéa ;
- > *épices* : cannelle (écorce), clous de girofle (boutons de fleurs séchés), muscade (noix) ;
- > *parfums* : eucalyptus (feuille), ylang-ylang (fleur), myrrhe et encens (résine) ;
- > *fibres* : kapokier ;
- > *fécule* : sagou ;

sans compter les *produits secondaires* tirés de nombreuses espèces.

● **La fréquence des récoltes**

Selon les espèces, elle peut être :

- > saisonnière : une ou deux fois par an pour le café (mais il faut, à chaque fois, trois passages successifs pour récolter les cerises à point), le cacao, les agrumes, les mangues, les avocats, les dattes, les litchis, les anacardes...
- > pendant toute la saison des pluies et tous les dix jours pour le thé ;
- > régulière pendant toute l'année, tous les deux à quatre jours pour le caoutchouc, tous les sept à quinze jours pour les régimes de palme, tous les deux mois pour les noix de coco.

● **Les soins particuliers**

Ils sont spécifiques à chaque production :

- > pour les fruits frais destinés à l'exportation il est important de déterminer le stade optimal de leur cueillette, ni trop verts ni trop mûrs. Parfois des traitements sont autorisés, garantissant une conservation correcte pendant le transport (litchis traités à l'anhydride sulfureux) ;
- > la récolte des fruits de cacao doit être suivie immédiatement de l'écabossage et de la fermentation pendant quelques jours avant séchage ;
- > les anacardes ne doivent pas être cueillies mais ramassées au sol ;
- > les régimes de palme et les fruits détachés doivent être traités (stérilisation, pressage, etc.) dans les 48 heures suivant la coupe pour éviter une acidification préjudiciable de l'huile.

Toutes les cultures pérennes tropicales se prêtent mal à la récolte mécanisée, du fait de l'architecture des arbres ou de la qualité attendue des fruits. On peut signaler cependant quelques résultats pour la récolte du café, des agrumes pour la fabrication de jus (Brésil), et du thé (Sud-Est Asiatique).

4 3

Modifier les itinéraires techniques

- 4.3.1 L'amélioration des plantes et la production de matériel végétal**
- 4.3.2 L'amélioration des propriétés physiques du sol**
- 4.3.3 La gestion de la fertilité**
- 4.3.4 La gestion de l'eau**
- 4.3.5 La lutte contre les mauvaises herbes**
- 4.3.6 La protection contre les maladies et les ravageurs**
- 4.3.7 La récolte, le stockage et la première transformation**
- 4.3.8 La traction animale et la motorisation**

L'amélioration des plantes et la production de matériel végétal

À partir des contributions de P. Feldmann (CIRAD) et H. Feyt (CIRAD)

LES OBJECTIFS DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES

L'amélioration des plantes, à la fois art et science, vise à créer des variétés répondant aux besoins de l'agriculteur, mais aussi à ceux de tous les utilisateurs du produit récolté : consommateur, industriel, intermédiaires de la commercialisation, du stockage, de la transformation, etc.

Du point de vue génétique, elle peut être définie comme l'ensemble des processus qui, à partir d'un groupe d'individus n'ayant pas certains caractères au niveau recherché, permet d'obtenir un autre groupe d'individus, plus ou moins reproductible – *la variété* – apportant un progrès (Demarly, 1977).

L'amélioration des plantes est du domaine de l'ingénierie génétique. Mais c'est aussi une activité économique qui a pour objectif d'améliorer la production des plantes aux plans quantitatif et qualitatif. Elle doit donc être conçue pour obtenir les progrès génétiques les plus importants de la manière la plus durable possible avec la meilleure utilisation des moyens disponibles.

En pratique, toute sélection est nécessairement multivariable car il s'agit de progresser sur un ou plusieurs caractères sans perdre ceux déjà acquis. Or de nombreux caractères sont complexes et résultent de l'expression d'un grand nombre de gènes. Pour accumuler le maximum de gènes ou de combinaisons de gènes favorables dans un individu, il faut donc provoquer le maximum de recombinaisons.

L'amélioration des plantes comporte deux phases fondamentales :

- > la recherche et la création de variabilité (par prospection, hybridation, etc.) ;
- > la sélection et la fixation de cette variabilité (suivi des recombinaisons, homogénéisation).

Un programme d'amélioration performant et efficace nécessite de bien identifier les objectifs à atteindre pour répondre aux besoins des différents utilisateurs. L'évolution permanente des conditions climatiques, écologiques, sociales et économiques conduit à un ajustement continu des objectifs, de la manière la plus prospective possible en raison du temps et du coût élevé des opérations de production et de diffusion de nouvelles variétés.

La sélection participative, c'est-à-dire associant directement à des degrés variables les paysans, mais aussi les futurs consommateurs ou utilisateurs des variétés, diminue le risque de parvenir à de nouvelles variétés mal adaptées.

LES BASES BIOLOGIQUES DE LA REPRODUCTION DES PLANTES

Les méthodes de sélection doivent être adaptées aux caractéristiques spécifiques de l'espèce à améliorer, la structure génétique étant modelée par le régime de reproduction. On distingue ainsi deux régimes principaux de reproduction sexuée : l'*autogamie* et l'*allogamie*. L'*apomixie*¹ et la *multiplication végétative* sont d'autres modes de reproduction moins courants.

L'autogamie est caractéristique des espèces qui s'autofécondent habituellement et dont les individus sont globalement homozygotes. Chaque gène se retrouve sous une forme (allèle) identique sur les deux chromosomes que compte habituellement un individu. Ce régime est dominant chez les espèces comme l'arachide, le riz, le sorgho, la tomate.

L'allogamie, au contraire, est le régime de reproduction où sont favorisées les fécondations croisées avec pour conséquence une hétérozygotie élevée des individus. Le maïs, la canne à sucre, l'ananas, le palmier à huile ou le cacao sont des espèces allogames. Ces espèces présentent naturellement une forte hétérozygotie, et corrélativement, supportent mal sa diminution par autofécondation. C'est la dépression de consanguinité ou *inbreeding*.

La multiplication végétative (asexuée) permet la multiplication conforme des plantes et aboutit à des ensembles homogènes appelés clones. C'est le cas de très nombreuses plantes importantes comme le bananier, la canne à sucre, l'hévéa ou les plantes à tubercules.

Il existe des situations intermédiaires² ou qui combinent plusieurs régimes de reproduction³. Cela a des conséquences déterminantes sur la structure génétique des cultivars et donc sur les stratégies d'amélioration.

Les espèces autogames ont développé divers mécanismes favorisant l'autofécondation dont le plus extrême est celui des fleurs cléistogames qui ne s'épanouissent pas. À l'opposé, les espèces allogames ont mis au point des mécanismes favorisant la fécondation croisée :

- > mécanismes génétiques, comme l'auto-incompatibilité ou la stérilité mâle ;
- > mécanismes physiques, comme le décalage des floraisons mâle et femelle dans l'espace ou dans le temps, la pollinisation par le vent (anémogamie), les insectes (entomogamie) ou même des mammifères (chauve-souris pour le baobab) ou des oiseaux (colibri pour les balisiers).

La connaissance du régime de reproduction est indispensable pour définir les stratégies de prospection et de conservation des ressources génétiques ainsi que les méthodes d'amélioration génétique.

1 L'apomixie est un mode de reproduction asexuée produisant des descendants non issus de la fusion de deux gamètes. Suivant l'origine cellulaire de l'embryon, on distingue la parthénogenèse (à partir d'un gamète seul), l'apogamie (à partir d'une cellule du sac embryonnaire), l'aposporie (à partir de tissus diploïdes).

2 Comme un taux d'autogamie partiel.

3 Par exemple une plante allogame à multiplication végétative.

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES PLANTES CULTIVÉES

● Les sources de variabilité

On ne peut sélectionner que dans une structure présentant de la variabilité. La première étape d'un programme d'amélioration, une fois les objectifs de sélection bien définis, est donc d'identifier les populations sources présentant la variabilité génétique utile. Ces ressources génétiques d'origines diverses, cultivées ou sauvages, peuvent être réunies dans une collection ou issues d'une action de création de variabilité par brassage génétique (hybridations) ou induction de nouvelles variations par mutagenèse ou par l'utilisation de certaines biotechnologies.

● La gestion et l'évaluation des ressources génétiques

Les ressources génétiques sont constituées des variétés cultivées collectées dans les environnements les plus variés ainsi que des populations sauvages et des espèces apparentées, quand elles existent. Elles sont classiquement issues de prospections qui permettent de constituer des collections. La gestion de ces collections est une opération de longue haleine, coûteuse et difficile. Les individus qui les composent doivent être caractérisés et conservés pour pouvoir être utilisés efficacement. Le meilleur compromis est recherché entre une conservation *in situ* qui permet de gérer de manière dynamique la variabilité, que ce soit en milieu naturel ou cultivé, et les collections *ex situ* conservées à l'abri des aléas et des pressions de sélection : vitrothèques, banques de graines.

Les sélectionneurs disposent ainsi de larges collections pour améliorer la plupart des espèces cultivées. Mais un très faible pourcentage de plantes issues de ces collections est réellement utilisé. Cette sous-exploitation des ressources génétiques résulte en partie du manque de caractérisation des matériels en collection. L'évaluation de ces collections bénéficie aujourd'hui des avancées récentes des techniques de biologie moléculaire qui, alliées aux caractérisations morpho-agronomiques, permettent de créer des collections de travail de taille réduite, ou core-collection, représentatives de la variabilité disponible. Les marqueurs moléculaires permettent d'approcher de plus près le génotype et aident ainsi à une meilleure compréhension des processus de domestication, de la structure de la variabilité au sein des espèces, des apparentements entre populations ou encore des flux de gènes entre espèces sauvages et cultivées.

La constitution des ces collections de ressources génétiques, souvent issues de pays et d'environnement très divers, a des implications scientifiques mais aussi juridiques abordées dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique, ainsi qu'en matière de contrôles phytosanitaires⁴.

● Hybridation, mutagenèse et biotechnologies

La voie classique de création de la variabilité génétique passe par le croisement entre deux génotypes présentant des caractères intéressants que l'on souhaite combiner. Leur descendance présentera, grâce au brassage des chromosomes et à leur recombinaison interne (*crossing over*), un nouveau polymorphisme sur lequel s'exercera la sélection.

⁴ Maladies, ravageurs, mais aussi risque d'invasion par des espèces exotiques, qui a souvent été sous-estimé.

Différentes méthodes permettent d'introduire de nouveaux caractères : la mutagenèse, l'induction de variation par culture *in vitro*, la modification du niveau de ploïdie ou encore la culture de gamétophytes *in vitro*, la fusion somatique de protoplastes⁵ ou la transgenèse⁶. Cette dernière, d'application récente, a été développée surtout chez le maïs, le cotonnier et le soja, principalement pour le transfert de gènes conférant une résistance à certains insectes ou herbicides. La diffusion des nouvelles variétés issues de ces programmes (OGM) a posé et pose des questions en matière de risques éventuels pour la santé et pour l'environnement ainsi qu'aux niveaux social et économique. Ce constat a conduit à la mise au point de plantes génétiquement modifiées permettant de mieux maîtriser et de mieux prendre en compte les préoccupations croissantes de sécurité et de sûreté alimentaire, de durabilité et de préservation de l'environnement.

Les hybridations interspécifiques, qui permettent d'aller chercher des caractéristiques intéressantes chez des individus génétiquement éloignés, ont été largement utilisées en amélioration des plantes, en particulier pour exploiter des caractères de rusticité et de résistance à des maladies présents chez les espèces sauvages. La réussite de tels croisements présente de nombreuses difficultés et conduit parfois à des hybrides non fertiles. Cette fertilité peut parfois être rétablie par un doublement du stock chromosomique de l'hybride conduisant à un amphidiploïde. Chez une espèce comme la canne à sucre, toutes les variétés modernes cultivées sont ainsi issues d'hybridations interspécifiques.

● La sélection et la fixation de la variabilité

Afin d'obtenir des variétés utilisables par les agriculteurs, il faut, à partir des populations de départ, obtenir des combinaisons génétiques mieux adaptées. La compréhension des effets génétiques intervenant dans le fonctionnement des espèces est à la base des stratégies de sélection.

● La valeur d'un individu en croisement

Les différents effets génétiques que sont l'additivité, la dominance et l'hétérosis permettent d'appréhender les facteurs conditionnant la valeur d'un individu en croisement. On sait empiriquement que, pour un caractère ou un ensemble de caractères donnés, certains individus ont la capacité d'influencer, plus que d'autres, leur descendance. Afin d'évaluer la valeur en croisement des génotypes, il a été nécessaire de définir des critères pour prévoir et mesurer cette capacité : l'héritabilité, les balances génétiques, les aptitudes à la combinaison.

● Les hérabilités

Lorsque l'on observe une population, on peut se demander tout d'abord si les différences observées entre individus sont liées à la constitution génétique des plantes ou aux facteurs du milieu (environnement).

On définit ainsi l'héritabilité au sens large : $h^2 = \text{Variance génétique} / \text{Variance phénotypique}$ et l'héritabilité au sens étroit : $h^2 = \text{Variance génétique additive} / \text{Variance phénotypique}$.

5 Protoplaste : cellule végétale débarrassée de sa paroi rigide pecto-cellulosique.

6 Transgenèse : transfert artificiel de matériel génétique issu d'une autre espèce.

● **Les balances génétiques**

La *balance* indique une adaptation de la constitution génétique d'un individu à un milieu donné. Quand le fonctionnement de l'ensemble des gènes est considéré comme bon, on dit que le génotype est bien équilibré.

La nature des allèles présents le long d'une séquence génique sur le chromosome définit la qualité de la *balance interne*. Une hétérozygotie à chaque locus peut entraîner un bon équilibre entre allèles. On parle de *balance de relation*.

La balance interne dépend d'un bon arrangement linéaire des *linkats*⁷ (qui peuvent être détruits par les *crossing-over*) et la balance de relation de la qualité de l'interaction entre *linkats* homologues (Demarly, 1977).

● **Les aptitudes à la combinaison**

Elles apportent des éléments plus précis quant à la qualité de la transmission des caractères d'un parent à sa descendance.

L'aptitude générale à la combinaison (AGC) d'un géniteur est estimée par la valeur moyenne de ses descendants avec différents partenaires. C'est un effet principal. Dans le produit d'un croisement, on doit retrouver la somme des AGC des deux parents. En fait, pour un croisement donné, on observe presque toujours un écart par rapport à cette somme. Cet écart mesure l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) du croisement. Celle-ci n'est donc pas attachée à un parent mais à une combinaison précise. C'est une interaction.

Caractère A = Aptitude générale de X + Aptitude générale de Y + Aptitude spécifique de XY.

● **Comment estimer ces valeurs ?**

De nombreux systèmes de croisement peuvent être utilisés pour apprécier les qualités d'un individu en tant que géniteur selon que l'espèce est allogame ou autogame :

- > *les fécondations libres (allogames uniquement)* : on compare les descendances de chaque génotype librement pollinisé. Cela ne concerne que les AGC et présente un inconvénient : la population pollinique est rarement la même pour chaque individu ;
- > *le test top-cross* : on utilise le même testeur pour tous les géniteurs. Si le testeur est de base génétique large (population ou au minimum hybride) on estime l'AGC. Sinon cela revient à mesurer l'ASC ;
- > *le test poly-cross* : le testeur est constitué par la population pollinique des structures à étudier ;
- > *les croisements hiérarchiques* : un certain nombre de parents sont choisis à un premier niveau et ceux-ci sont croisés à des groupes différents qui constituent un deuxième niveau (cela permet d'associer des groupes de précocité et de diminuer le nombre de croisements par plante). Cela donne une bonne estimation de l'AGC. La variance intra-groupe de partenaires peut donner une idée de l'importance de l'ASC ;
- > *les croisements diallèles* : ils permettent d'estimer simultanément l'ASC et l'AGC. Ils consistent à réaliser tous les croisements deux à deux des géniteurs étudiés. L'utilisation de répétitions permet de contrôler l'effet du milieu. Divers modèles permettent d'en interpréter les résultats.

⁷ Linkat : association préférentielle d'allèles gènes dans une partie de génome se recombinant peu.

● Les méthodes de sélection

L'amélioration de plantes est une opération de longue haleine, il faut souvent plus de 10 à 15 ans pour créer ou sélectionner une nouvelle variété. Elle doit donc être optimisée par le développement de méthodes d'évaluation et de sélection efficaces, qui sont toujours un compromis entre durée et précision.

Les populations sauvages d'espèces autogames sont constituées en grande majorité d'individus homozygotes. Ces espèces possèdent donc une tolérance à la consanguinité acquise par sélection naturelle. Les structures homozygotes extraites par le sélectionneur d'une telle population sont donc des lignées pures. Les variétés ainsi sélectionnées sont donc stables, homogènes et facilement reproductibles. On peut toutefois essayer d'exploiter l'hétérosis ou vigueur hybride existant chez certaines espèces. Cela est pratiqué chez le sorgho, le blé ou le riz en faisant appel à divers mécanismes.

Chez une espèce allogame, l'hétérozygotie est la règle en raison du brassage allélique favorisé à chaque génération de croisements. Ces espèces sont mal adaptées aux régimes consanguins, la sélection naturelle ne pouvant éliminer les gènes récessifs défavorables qu'à l'état homozygote. Une bonne variété doit donc optimiser l'hétérosis mais être également facilement reproductible à l'identique : c'est le rôle des variétés hybrides.

● La sélection massale

C'est la sélection empirique pratiquée depuis des milliers d'années. Les individus qui participeront à la génération suivante sont choisis phénotypiquement. On réalise facilement que l'efficacité de cette sélection massale est liée à la corrélation entre phénotype et génotype et donc à l'héritabilité des caractères. Si la variance phénotypique est très supérieure à la variance génotypique, le choix sera sans effet sur le gain génétique à la génération suivante.

Ce type de sélection est très proche de la sélection naturelle. Il est cependant totalement inefficace si les caractères sélectionnés sont négativement corrélés. C'est donc une méthode simple mais sommaire, d'autant plus efficace qu'elle s'adresse à des critères en nombre limité, en corrélation positive et à forte héritabilité.

● La sélection généalogique

Elle consiste, à partir d'un croisement dirigé initial, à observer et sélectionner les individus des générations successives obtenues par autofécondation, jusqu'à la fixation complète en lignée⁸. Elle est classiquement pratiquée pour la plupart des plantes autogames : céréales à paille (blé, riz), oléoprotéagineux (soja, arachide), légumineuses (haricot, niébé) mais aussi pour l'obtention des lignées parentes d'hybrides. Les choix aux stades précoces (F_2 et F_3) posent une réelle difficulté du fait que les génotypes sont encore très hétérozygotes.

⁸ Généralement 8 à 10 générations.

Une accélération de la fixation en lignées homozygotes et une réponse à la difficulté de sélectionner des structures hétérozygotes sont possibles par l'obtention d'haploïdes⁹ doublés chez certaines espèces, par hybridation interspécifique (cas de l'orge) ou par culture de gamétophytes *in vitro*¹⁰. L'androgenèse *in vitro* est ainsi largement pratiquée chez le riz et permet d'obtenir rapidement (en 1 à 2 ans) des lignées pures pour lesquelles la sélection phénotypique est une lecture directe du génotype.

● Les *back-cross*

Ce mode de sélection est particulièrement adapté à l'introduction d'un caractère simple dans une variété d'espèce autogame ou dans une lignée. Il consiste à croiser la variété à améliorer avec un individu présentant le caractère intéressant, puis à rétro-croiser pendant plusieurs générations les descendants possédant ce caractère avec cette variété. À chaque génération, le taux d'homozygotie augmente et le génotype se rapproche progressivement de celui de la variété d'origine, excepté pour le caractère introduit. Cette méthode a permis l'obtention de variétés de colza sans acide érucique ou d'introduire des caractères de résistances simples à des maladies. Le schéma diffère selon que l'on a affaire à un gène dominant ou récessif.

● La sélection récurrente

La sélection récurrente est un perfectionnement des méthodes classiques de sélection caractérisé par la succession de cycles comprenant une phase de brassage, favorisant les recombinaisons, et une phase de fixation et sélection. Elle présente l'avantage d'améliorer progressivement des populations, en favorisant la mise en place d'arrangements alléliques complexes et plus performants, et ainsi d'exploiter au mieux la variabilité génétique disponible. L'amélioration en parallèle de sous-populations les unes par rapport aux autres¹¹ permet d'aboutir à la sélection de variétés hybrides : maïs, sorgho.

Une des faiblesses des lignées réside dans leur homogénéité génétique, entraînant souvent leur faible homéostasie : la résistance à une race de pathogène, par exemple, est en général facilement surmontable. Une solution est alors d'utiliser des variétés composites multilignées¹² ou des hybrides quand cela est possible.

● Les variétés hybrides

La réalisation de variétés hybrides est un objectif classique pour l'amélioration des espèces allogames afin d'exploiter l'hétérosis. Elle est également applicable à certaines espèces autogames, même si cet effet y est souvent moins marqué.

Elle suppose de pouvoir contrôler la pollinisation entre un parent choisi comme mâle et un autre choisi comme femelle. Si les parents sont des lignées, les produits sont tous identiques (hybrides F1). Mais l'on peut aussi réaliser des croisements entre une lignée et un hybride F1 (hybride trois voies), entre deux hybrides (hybride double), entre deux génotypes multipliés végétativement (hybride de clone) etc., selon les possibilités qu'offre l'espèce à améliorer.

9 Haploïde : génome ne comportant qu'un stock unique de chromosomes (n).

10 Culture d'anthers = androgenèse ; culture d'ovules = gynogenèse.

11 Sélection récurrente réciproque.

12 Qui miment la structure des populations naturelles.

La création de variétés hybrides permet et suppose d'allier bonne balance interne et bonne balance de relation et s'effectue donc sur le schéma suivant :

- > sélection des structures parentales pour leur bonne balance interne ;
- > recherche des meilleures aptitudes à la combinaison (balances de relation) ;
- > production des hybrides à partir des meilleures combinaisons identifiées. La maîtrise des hybridations s'obtient par voie manuelle (castration chez le maïs), chimique (gamétocides) ou génétique (stérilité mâle génique ou cytoplasmique).

● Les variétés synthétiques

Pour de nombreuses espèces allogames, il n'est pas possible de produire des hybrides¹³. Un compromis est donc recherché en essayant de concilier vigueur hybride, homogénéité, fixation de caractères spécifiques et stabilité au sein de la variété.

● Les polypléides

Plus de la moitié des espèces végétales sont polypléides, c'est-à-dire qu'elles possèdent plus de deux copies du stock chromosomique de base (n). Suivant l'origine de la polypléidie, on distingue l'autopolyploïdie et l'allopolypléidie (présence de stocks chromosomiques différents). La polypléidie a des conséquences importantes sur les stratégies de sélection car, si elle complique grandement la compréhension du fonctionnement génétique de la plante, elle est également un outil d'amélioration variétale : elle permet de rétablir la fertilité induite par une hybridation interspécifique et conduit à des structures génétiques présentant plus d'homéostasie et moins sensibles à la consanguinité. C'est un facteur clé du succès de certaines plantes parthénocarpiques comme le bananier qui est un triploïde. La compréhension de la polypléidie bénéficie actuellement de progrès rapides grâce au développement des techniques d'hybridation *in situ* d'ADN.

● Les critères de sélection et l'adaptation à l'environnement

Les critères de sélection sont nécessairement multiples, l'objectif étant d'obtenir des variétés répondant mieux aux besoins, c'est-à-dire se rapprochant d'un type idéal : habituellement rendements plus élevés, meilleure qualité, et ceci dans une large gamme de conditions. Parmi les critères souvent déterminants en sélection, on peut citer les différents paramètres du rendement en quantité et en qualité mais aussi les caractères de résistance aux maladies qui nécessitent des essais spécifiques d'inoculation et d'évaluation, donc une bonne connaissance biologique et épidémiologique des pathogènes. Les outils moléculaires sont de plus en plus utilisés comme aide à la sélection quand on arrive à les relier à des caractères d'intérêt.

Un objectif important est donc la prise en compte de l'adaptation fine aux conditions de l'environnement local, que ce soit le cycle de culture, les conditions socioéconomiques de production ou les conditions pédoclimatiques. Pendant longtemps la sélection visait des variétés à large adaptabilité, pouvant être cultivées dans un large spectre de conditions.

13 Non maîtrise de la pollinisation, auto-incompatibilités gênant la création des lignées parentales, etc.

C'est un objectif parfois difficile à atteindre, mais aussi un facteur de diminution de la diversité génétique et donc de la durabilité des variétés. La tendance actuelle pour l'amélioration de nombreuses espèces est donc d'optimiser l'adaptation à un environnement donné en prenant en compte, au-delà d'une adaptation générale, l'interaction génotype et environnement. Ceci nécessite des expérimentations multilocales rigoureuses qui bénéficient du développement d'outils statistiques et informatiques nouveaux et performants.

LA MULTIPLICATION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL

● La production de semences

La production vise à fournir à l'agriculteur un produit conforme au modèle mis au point par le sélectionneur et respectant les normes de qualité techniques en vigueur. On ne parlera que des principaux types de variétés déjà cités.

Les variétés lignées

On distingue cinq catégories de semences :

- > *le matériel de départ ou G0 ou breeder seed* : il est l'étalon de la variété, qui doit être à l'origine de chaque processus de multiplication. Sa conformité au type original – la maintenance – est assurée par l'obteneur, ou un mainteneur désigné si ce dernier fait défaut ;
- > *les semences de pré-base (G1, G2, G3)* : issues du matériel de départ, elles conduisent aux semences de base à travers deux ou trois générations maximum ;
- > *les semences de base (G4)* : ce sont les semences mères des semences commerciales ;
- > *les semences commerciales (certifiées) de première génération (R1)* ;
- > *éventuellement les semences commerciales de deuxième génération (R2).*

On voit qu'il y a au maximum cinq générations (six pour les R2) du sélectionneur à l'agriculteur, afin de limiter tout risque de dérive ou de pollution – improprement nommée dégénérescence – de la variété. Ce nombre de générations peut être réduit à deux ou trois pour les espèces à fort taux de multiplication.

Les variétés hybrides

La production compte deux étapes : la multiplication des lignées parentales en une ou deux générations à partir du matériel de départ selon le taux de multiplication de l'espèce ; la production des semences commerciales par culture simultanée des deux parents.

Les variétés synthétiques

Elles sont obtenues en multipliant en pollinisation libre, pour un nombre de générations défini et selon des dispositifs spécifiques à chaque formule un ensemble de génotypes choisis pour leur qualité propre et leur aptitude à se combiner entre eux. À chaque espèce, type variétal et génération de multiplication correspondent des normes et un cahier des charges qui doivent être respectés par les établissements semenciers et les agriculteurs multiplicateurs, sous contrôle direct ou indirect d'un service officiel.

De la formule génétique mise au point par le sélectionneur à la semence disponible à l'agriculteur, il y a donc un long processus, faisant appel à des métiers et des connaissances très diverses, dont chaque étape exige rigueur et professionnalisme. Le transfert du progrès génétique est à ce prix.

● La production de plants

● Les méthodes classiques de production de plants

La production de plants par la voie asexuée se fait classiquement soit à partir d'organes qui assurent naturellement la propagation de l'espèce (drageons, rejets, tubercules, rhizomes, bulbilles, cayeux), soit artificiellement à partir de fractions d'organes capables de régénérer une plante entière (bouturage et marcottage) ou par association forcée de deux plantes (greffage).

L'utilisation d'organes assurant naturellement la propagation des espèces ne sera pas traitée dans ce chapitre. Nous renvoyons pour ces aspects le lecteur aux fiches de la partie 5 (Agriculture spéciale) qui décrivent pour chaque espèce le mode de multiplication couramment utilisé ainsi que les techniques permettant d'en augmenter le rendement pour multiplier rapidement des cultivars intéressants. Dans ce chapitre, nous examinerons seulement les techniques de bouturage, de marcottage et de greffage.

● Le bouturage

Il consiste à reproduire une plante identique au pied-mère à partir d'un fragment de celui-ci. Il concerne des espèces variées : caféier, poivrier, théier etc. S'il existe des boutures de racines et de feuilles, les plus fréquentes sont les boutures de rameaux plus ou moins lignifiés, préparées à partir de rameaux d'un an. Certains ligneux peuvent également être multipliés par macro-boutures (tiges d'un mètre de longueur environ et de plusieurs centimètres de diamètre), ce qui est particulièrement intéressant pour constituer des haies par exemple.

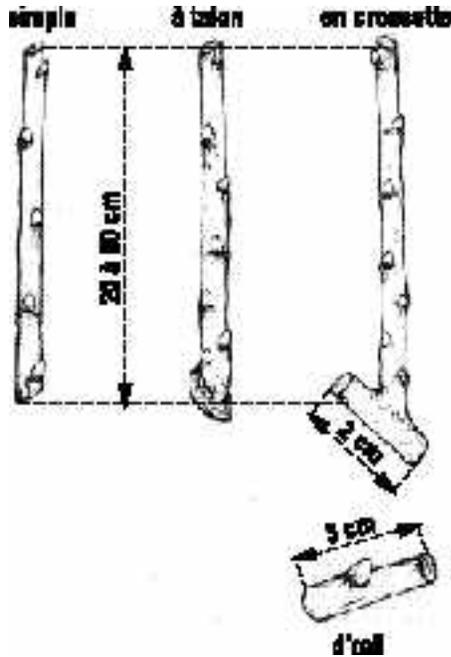
La préparation des boutures comporte les opérations suivantes :

- > *le prélèvement* : la position des rameaux est importante, et selon les espèces, on prélève des rameaux orthotropes (kapokier, poivrier, caféier) ou plagiotropes (cacaoyer) ; le rameau est sectionné à proximité d'un nœud et de longueur variable (un entrenœud vert avec sa feuille dans le cas du théier par exemple) ;
- > *l'habillage*, qui consiste à supprimer ou réduire la surface évaporante (feuilles) ;
- > *les soins sanitaires éventuels* (trempage des plaies) ;
- > *un hormonage éventuel* du nœud où doivent se développer les racines.

Il est important de travailler avec des outils propres (serpette, sécateur) et bien aiguisés pour produire des coupes franches.

Les boutures devront après installation être protégées contre les maladies et ravageurs et les pertes en eau limitées jusqu'au développement d'un chevelu racinaire fonctionnel : ombrage, couverture anti-transpirante etc. Des arrosages fréquents sont parfois nécessaires.

Le bouturage permet de reproduire une plante à l'identique. C'est une technique relativement lourde à mettre en œuvre¹⁴, onéreuse, et permettant un taux de multiplication dépendant du type de bouture utilisé¹⁵.



► Figure 1 : Différents types de boutures¹⁶

● Le marcottage

Il consiste à faire raciner de jeunes rameaux avant qu'ils ne soient séparés de leur pied d'origine. C'est une technique utilisée pour des espèces dont le taux de reprise des boutures est faible ou nul. Selon les espèces, on procède par couchage¹⁷, par buttage¹⁸ ou par marcottage aérien¹⁹.

14 Constitution d'un parc à bois pour prélever les boutures, création d'une pépinière.

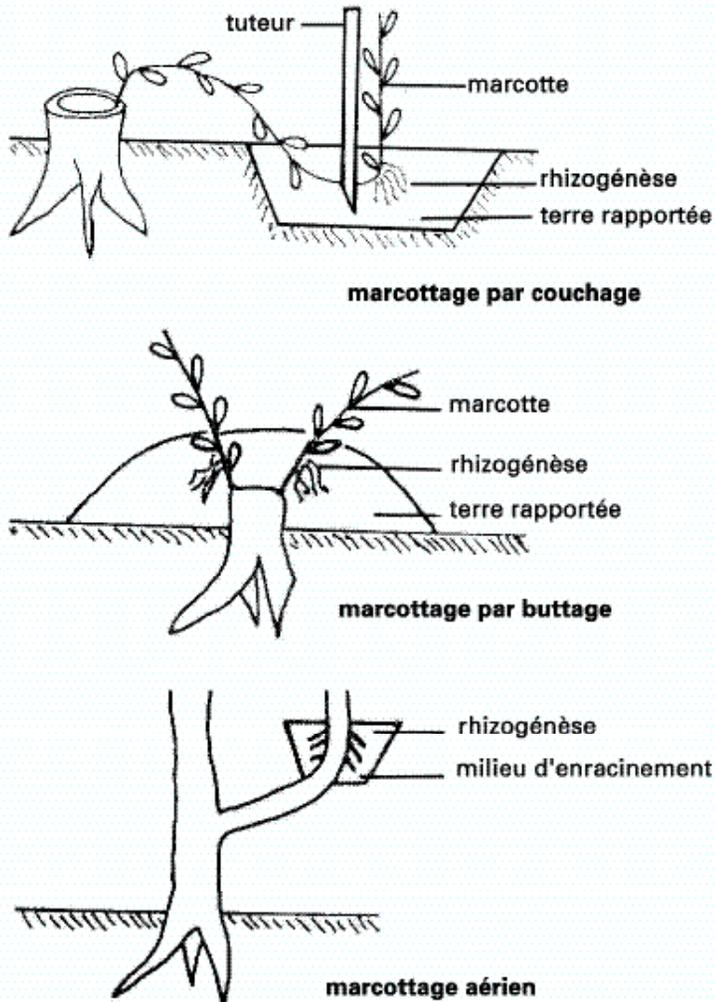
15 Les boutures à talon et en crossette ne permettent que de faibles taux de multiplication.

16 Extrait de « BRETAEU J., FAURE Y., 1992, *Atlas d'arboriculture fruitière*, Lavoisier, coll. Tec & Doc, Paris».

17 Espèces à rameaux longs et flexibles.

18 Espèces à rameaux courts et rigides comme le goyavier.

19 Espèces à rameaux longs et rigides ; fixation aérienne d'un milieu d'enracinement : litchi par exemple.



► Figure 2 : Différentes techniques de marcottage

● Le greffage

C'est l'insertion d'une portion de rameau (greffon), issue de la plante à multiplier, sur un jeune plant (sujet) qui est le porte-greffe.

Après reprise, l'individu possède des qualités liées au greffon et au porte-greffe : la partie greffée possède les qualités de la variété qui a fourni le greffon et la partie souterraine possède les qualités de vigueur et de fixation au sol déterminées par le choix du porte-greffe.

La technique réclame :

- > une exécution minutieuse avec des outils adaptés (greffoir) ;
- > un état végétatif convenable : on greffe en général en période de repos végétatif ;
- > des soins particuliers pour assurer la vie du greffon avant soudure ;
- > une bonne compatibilité entre sujet et greffon.

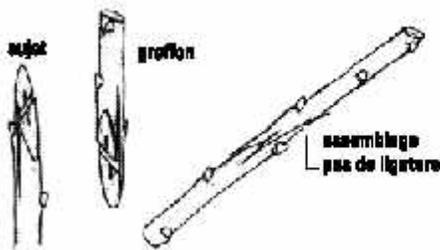
Elle consiste à faire affleurer le cambium du sujet et celui du porte-greffe puis à les rapprocher pour assurer le plus grand contact possible entre les deux. Tant que la soudure n'est pas assurée, ce contact est opéré artificiellement par exemple par ligaturage avec du raphia ou une bande adhésive.

L'âge du porte-greffe est indifférent dans le cas des espèces ligneuses. Le greffon doit par contre être prélevé sur du bois de l'année ou du bois d'un an.

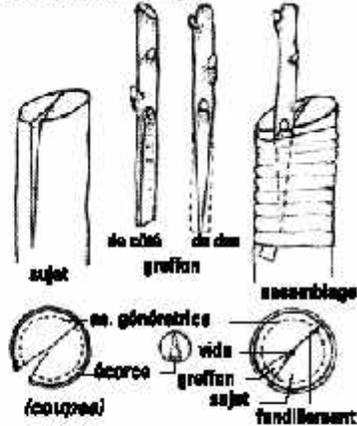
Les méthodes de greffage les plus courantes :

- > *les greffes par rameau détaché* : terminales en fente, en couronne, en incrustation, anglaise simple ou compliquée (manguier, litchi, ramboutan) ; latérales (de côté sous écorce) : manguier, anacardier ;
- > *les greffes par oeil* (bourgeon végétatif) : greffes en écusson (hévée, anacardier, agrumes) et chip-budding (agrumes) ;
- > *les greffes par approche* (en placage ou en arc-boutant), qui soudent entre elles deux parties de végétaux non détachées de leur pied d'origine.

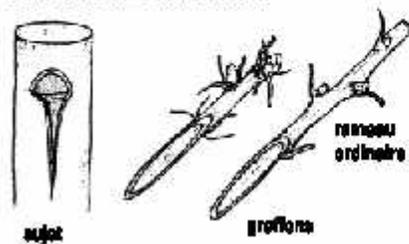
Greffes anglaises compliquées



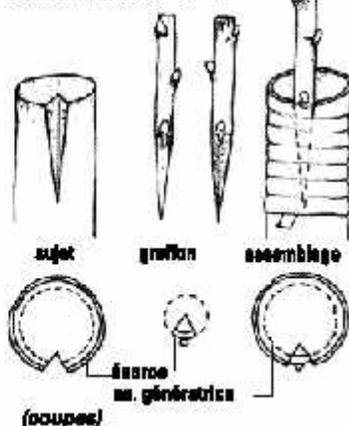
Greffes en fente simple



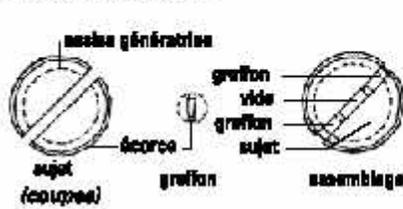
Greffes de côté sous écorce



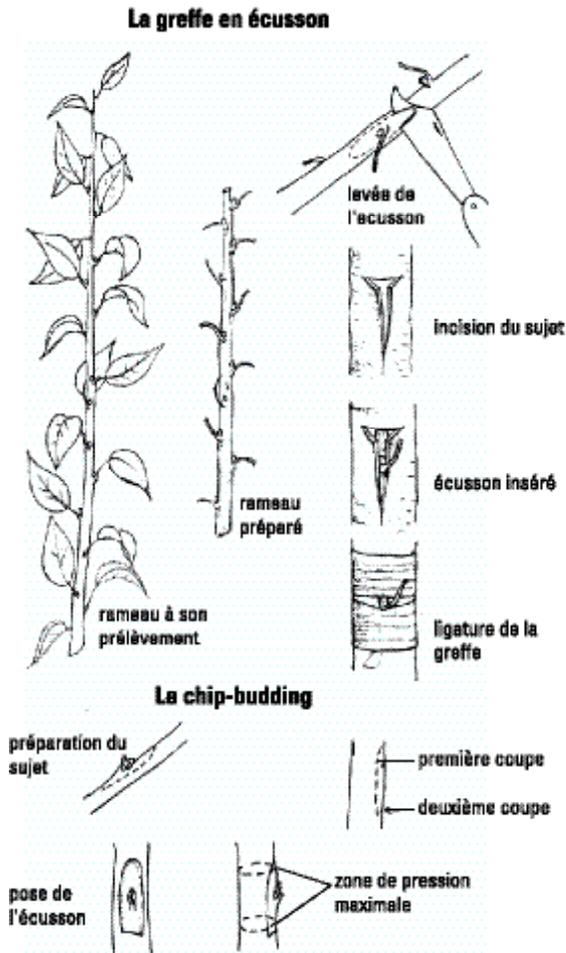
Greffes en incrustation



Greffes en fente double



➤ Figures 3 : Principaux types de greffes utilisés pour les espèces tropicales



► Figures 4 : Principaux types de greffes utilisés pour les espèces tropicales

Les plaies de greffage doivent être désinfectées, pansées pour les isoler de l'extérieur (protection sanitaire) et protégées contre le dessèchement avec des mastics à greffer.

Le greffage permet d'exploiter divers types de sol en utilisant différents porte-greffe, de moduler la vigueur du greffon par l'intermédiaire du sujet et de multiplier facilement des clones d'une variété hétérozygote ou d'un individu mutant. Les plants greffés produisent en général plus rapidement que les plants issus de semis.

Les plants greffés ont cependant une moindre longévité que les plants issus de semis. La compatibilité sujet-greffon doit être bien vérifiée au préalable. Le greffage est une technique délicate à maîtriser, dont il faut bien vérifier l'intérêt avant de vouloir la généraliser.

● La vitroculture

La culture de tissus *in vitro* permet de propager rapidement des géotypes intéressants. Elle est également un outil précieux pour l'assainissement, la conservation et l'échange de ressources génétiques en limitant les risques phytosanitaires. Les méthodes les plus utilisées sont la culture de bourgeon, d'apex ou de méristème, mais parfois d'autres organes sont employés (feuilles, tiges, racines). La propagation rapide est généralement obtenue par l'induction de la prolifération des tissus grâce à des substances de croissance apparentées aux auxines et aux cytokinines.

L'embryogenèse somatique met à profit ce phénomène pour aboutir à une amplification considérable des taux de multiplication de certaines espèces. Les techniques de culture *in vitro* sont des outils puissants pour la production en masse de plants mais nécessitent de contrôler les risques de contamination des cultures et d'instabilité inhérents à la méthode. Elles sont largement utilisées aujourd'hui dans certains domaines comme l'horticulture (où elles sont parfois le seul mode de multiplication commercial comme chez les Orchidées ou les *Anthurium* hybrides) mais aussi pour des cultures industrielles comme la canne à sucre ou le bananier.

LA PROTECTION, LE CATALOGUE OFFICIEL ET LA CERTIFICATION

La création d'une nouvelle variété végétale et son lancement en culture est un processus long et coûteux : environ dix ans, plus pour les espèces pérennes. Cet investissement important peut être réalisé par la recherche publique (État) ou l'initiative privée, qui en attendent légitimement des revenus pour assurer leur pérennité. De son côté, l'agriculteur doit pouvoir trouver sur le marché des semences de qualité. Enfin, au travers de dispositions spécifiques, les États peuvent agir de manière efficace sur l'évolution de leur production agricole.

Pour répondre à ces différents objectifs, des mesures législatives et réglementaires ont été progressivement élaborées, accompagnant le développement de l'agriculture. Leur degré de mise en place est donc fonction du développement économique de chaque pays. Elles touchent trois domaines.

● La protection de la propriété intellectuelle des variétés

Elle vise à garantir au sélectionneur de nouvelles variétés des conditions correctes pour la rémunération de son travail. Il appartient à chaque État d'élaborer un système de protection, qui peut relever du brevet, d'un système *sui generis*, ou d'une combinaison des deux²⁰. Le système UPOV²¹ est le plus généralement adopté²². L'État adhérent délivre un certificat d'obtention végétale (COV), valable sur le territoire national, sous réserve que la nouvelle variété réponde à trois critères techniques : distinction, homogénéité et stabilité (DHS), plus deux exigences : nouveauté commerciale et dénomination. Ce titre de propriété donne à son titulaire l'exclusivité de l'exploitation commerciale de la variété pour une durée limitée : minimum vingt ans pour les espèces annuelles, vingt-cinq pour les pérennes.

²⁰ Les accords TRIPS en font désormais une obligation pour tous les pays membres de l'OMC.

²¹ Union internationale pour la protection des obtentions végétales.

²² Quarante-cinq pays au 31 juillet 2000.

Ce droit prévoit cependant trois exceptions importantes :

- > lorsque la variété est utilisée à des fins privées à but non commercial ;
- > pour la recherche ou l'expérimentation ;
- > pour une utilisation en tant que géniteur dans de nouveaux programmes d'amélioration génétique.

● **L'inscription sur le catalogue officiel des variétés**

Chaque Etat peut instituer un catalogue officiel des variétés et semences cultivables sur son territoire. C'est un outil puissant pour protéger les consommateurs et orienter la production agricole. Les conditions d'inscription relèvent de deux approches :

- > identité et description : la variété candidate doit être reconnue DHS. et posséder une dénomination ; pas de critère de nouveauté commerciale ;
- > avantage comparatif au plan agronomique ou technologique par rapport aux variétés déjà inscrites, mesuré par une étude *valeur agronomique et technologique* (VAT)²³. Des systèmes de cotation des caractères peuvent être mis en place pour la prise de décision.

● **Le contrôle de la qualité des semences commerciales**

Il revient à chaque Etat d'établir les normes de qualité minimales attachées à chaque type de semences et plants ainsi que les règles pour y parvenir. Les règlements techniques correspondants font le plus généralement référence aux usages de la profession, au plan national et international : OCDE, FAO, FIS²⁴, ISTA²⁵.

Ce contrôle est exercé par un service officiel de contrôle (SOC) placé généralement sous l'autorité de l'Etat, en végétation (visites au champ), par prélèvement d'échantillons à chacune des étapes du processus de production et de commercialisation des semences et par leur analyse au laboratoire et *in vivo* (contrôle *a posteriori*). Les semences satisfaisant à l'ensemble de ces exigences sont alors certifiées.

Cependant, pour la plupart des espèces potagères ou florales et beaucoup de variétés hybrides, le contrôle qualité est souvent placé sous la responsabilité des établissements semenciers eux-mêmes. Le contrôle officiel s'exerce alors uniquement au niveau de la distribution.

²³ Etant donné la diversité de leurs modes de production et d'utilisation, il n'y a généralement pas de VAT pour les espèces maraîchères et horticoles.

²⁴ Fédération internationale des semences.

²⁵ International Seed Testing Association.

L'amélioration des propriétés physiques du sol

À partir des contributions de J.L. Chopart (CIRAD) et R. Pirot (CIRAD)

L'implantation des cultures nécessite généralement des modifications de l'horizon superficiel du sol qui permettent la création d'un milieu propice à l'installation et au développement des racines des plantes.

Traditionnellement, les modifications de ce profil sont réalisées par le passage d'outils agricoles maniés par l'homme, tirés par des animaux ou entraînés par des tracteurs. Cependant, suite aux catastrophes écologiques provoquées par un travail du sol excessif réalisé par des engins motorisés durant les cinquante dernières années, le recours systématique au travail profond a parfois été abandonné au profit de méthodes associant travail minimum du sol et couverture végétale. Les agriculteurs ont pu ainsi stopper la dégradation de leurs sols et même les régénérer.

Un travail du sol minimum reste la plupart du temps nécessaire et le choix des opérations de préparation du sol est donc un élément essentiel de raisonnement de l'itinéraire technique.

LE RÔLE DES RACINES

Les racines jouent un rôle encore trop méconnu mais fondamental dans le fonctionnement et la production des cultures, ainsi que dans l'évolution du sol. Les éléments présentés ici complètent ceux du chapitre consacré au fonctionnement du peuplement végétal cultivé.

● *Principales fonctions du système racinaire*

L'ancrage dans le sol

La plante est ancrée dans le sol par ses racines. Elles lui permettent de maintenir sa position dans l'espace malgré les forces liées au vent, à la pluie, etc.

L'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs

Les racines permettent à la plante de s'approvisionner en eau et en éléments minéraux. Le processus majeur de déplacement du phosphore et du potassium dans le sol est la diffusion dans la phase liquide du sol sur de faibles distances. Le volume de sol approvisionnant la plante dépend de la mobilité de l'élément considéré mais aussi de l'état hydrique du sol et de la quantité de racines présentes dans le sol.

La racine accède également à l'eau grâce à sa diffusion dans le sol sur une distance limitée de quelques centimètres. Même si le sol est bien pourvu en eau, cette eau ne sera pas utile à la plante s'il n'y a pas, à proximité, une racine pour l'intercepter.

L'enracinement de la plante dimensionne le volume de sol utile pour sa croissance et son développement.

L'enrichissement du sol en matières organiques

Après la récolte, la biomasse qui reste dans le sol est variable d'une espèce à l'autre mais peut atteindre environ 1 t/ha pour des espèces comme le riz ou le sorgho et même dépasser les 3 t/ha pour la canne à sucre. Les valeurs réelles de biomasse racinaire produite peuvent être supérieures du fait d'une dégénérescence d'une partie du système racinaire avant la récolte. Cette matière organique laissée dans le sol est très intimement liée à celui-ci et localisée en partie à une profondeur supérieure à celle des enfouissements par voie mécanique.

La protection du sol

Les racines des plantes cultivées sont en contact étroit avec le sol, plus spécialement en surface. Elles forment un maillage qui protège le sol contre l'érosion.

Les autres fonctions des racines

Les racines influencent la géochimie du sol par les acides qu'elles libèrent, par les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère qu'elles facilitent et enfin par les remontées d'éléments de la profondeur vers la surface. Elles contribuent à la création d'une structure du sol favorable à la circulation des fluides et d'un environnement favorable aux activités biologiques.

● **Les relations entre le sol, les racines, l'eau et la production**

● **La gestion du sol, son état physique et les systèmes racinaires**

Dans les conditions pédo-climatiques du Sénégal¹, il existe, entre 10 et 30 cm de profondeur, une relation entre l'état physique du sol et l'enracinement. L'état du sol produit par un labour en traction animale ou motorisée a un effet favorable sur la densité racinaire des cultures pluviales, aussi bien dans l'horizon travaillé qu'en dessous. En revanche, l'effet sur le front racinaire fluctue en fonction de l'espèce : il est nul sur le mil, assez faible sur l'arachide et le sorgho et nettement plus marqué sur le riz.

● **Les racines et l'eau**

Les études au champ sur la dynamique racinaire des cultures annuelles tropicales, couplées à des mesures de profils hydriques, ont débouché sur la mise en évidence de relations entre la densité racinaire et l'alimentation hydrique dans les milieux tropicaux semi-arides.

Ainsi, dans des essais au Sénégal comparant des itinéraires techniques avec labour ou en travail superficiel, on a observé qu'un enracinement plus important sur sol labouré permet une utilisation plus complète par la culture des réserves hydriques des couches profondes du sol, entraînant un meilleur comportement, en période sèche des cultures de riz pluvial, de sorgho et de mil.

Une étude a montré que seule une partie du système racinaire du riz est nécessaire à l'alimentation hydrique de la culture si celle-ci est suffisamment bien approvisionnée.

¹ Sols très faiblement structurés.

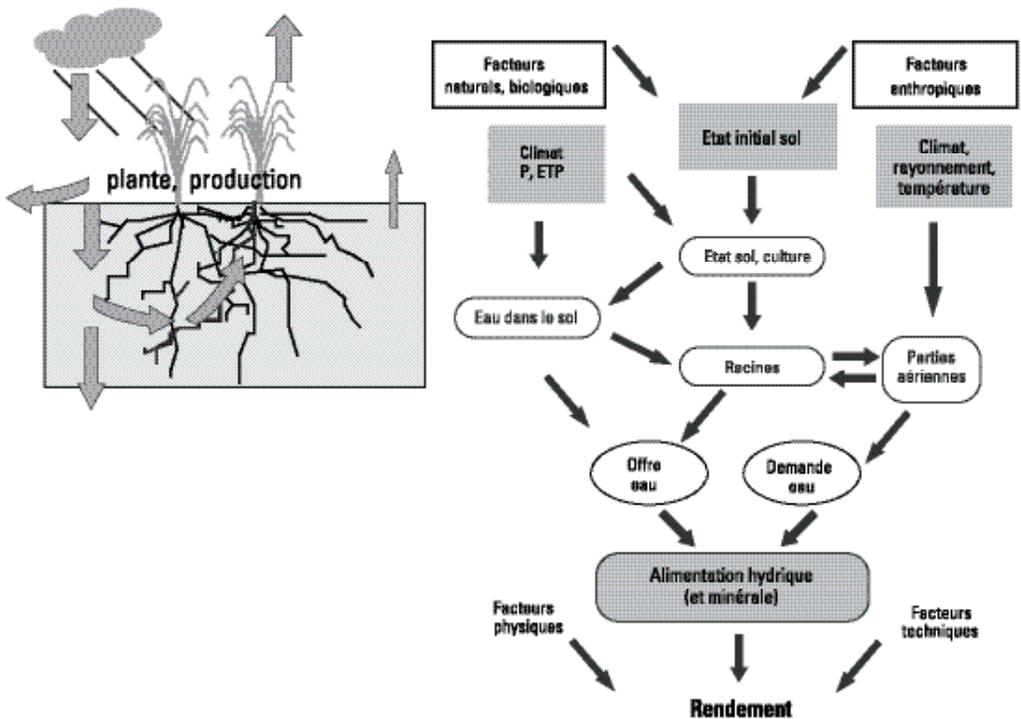
Mais, en dessous d'une certaine quantité de racines, la plante entre en stress hydrique, même en cas d'apport régulier dans le sol. En cas d'assèchement des couches superficielles, la partie profonde du système racinaire peut assurer seule l'alimentation hydrique, à condition que la quantité de racines soit suffisante dans la couche maintenue humide, de l'ordre de 50 % de la biomasse totale.

Ceci confirme le rôle fondamental des racines profondes dans l'alimentation hydrique des cultures de plein champ. Il faut donc tendre vers un système racinaire profond, avec une répartition homogène des racines.

● La gestion du sol, les racines, l'eau et la production

Si les relations entre mode de gestion du sol, racines et alimentation hydrique sont complexes, leurs conséquences sur la croissance et la production le sont encore plus.

Il a certes été possible, dans certaines conditions sèches, de relier la biomasse racinaire et le rendement utile de plusieurs cultures, mais ce n'est pas le cas général. Il n'y a, en effet, pas de relations causales directes entre la densité d'occupation du sol par les racines et le rendement. Par exemple, lorsqu'une culture à enracinement développé a épuisé les réserves hydriques, elle est tout autant stressée qu'une plante à enracinement moins développé. En revanche, un déficit hydrique modéré pourra avoir une incidence sur la production, variable en fonction du développement du système racinaire. Ces relations doivent donc être abordées en prenant en compte plusieurs facteurs.



► Figure 1 : Les relations entre l'état physique du sol et le fonctionnement hydrique du peuplement végétal

Commentaires de la figure 1 :

- > l'état physique du sol a une influence directe sur l'eau dans le sol (infiltration, stockage), sur l'enracinement, mais aussi, quoique de façon moins nette, sur les parties aériennes à travers la levée et les densités de peuplement ;
- > l'eau mise à la disposition de la plante ne dépend pas uniquement de facteurs physiques mais aussi des racines ;
- > l'alimentation hydrique résulte de la plus ou moins bonne adéquation entre une offre et une demande en eau. Toutes deux sont sous la dépendance indirecte de facteurs physiques et techniques variés qui peuvent augmenter à la fois l'offre et la demande ;
- > le rôle central des racines dans l'augmentation de l'offre du sol en eau apparaît clairement ;
- > l'enracinement dépend de l'état physique du sol mais aussi de son état hydrique et des parties aériennes ;
- > des effets *feed back* existent : des racines vers l'état physique du sol, entre racines et parties aériennes, de l'eau consommée vers l'offre et la demande.

Ce schéma peut s'appliquer à tous les facteurs de variation de l'état physique du profil cultural, qu'ils soient d'origine humaine ou naturels, liés au climat ou biologiques : vers de terre, termites, racines etc.

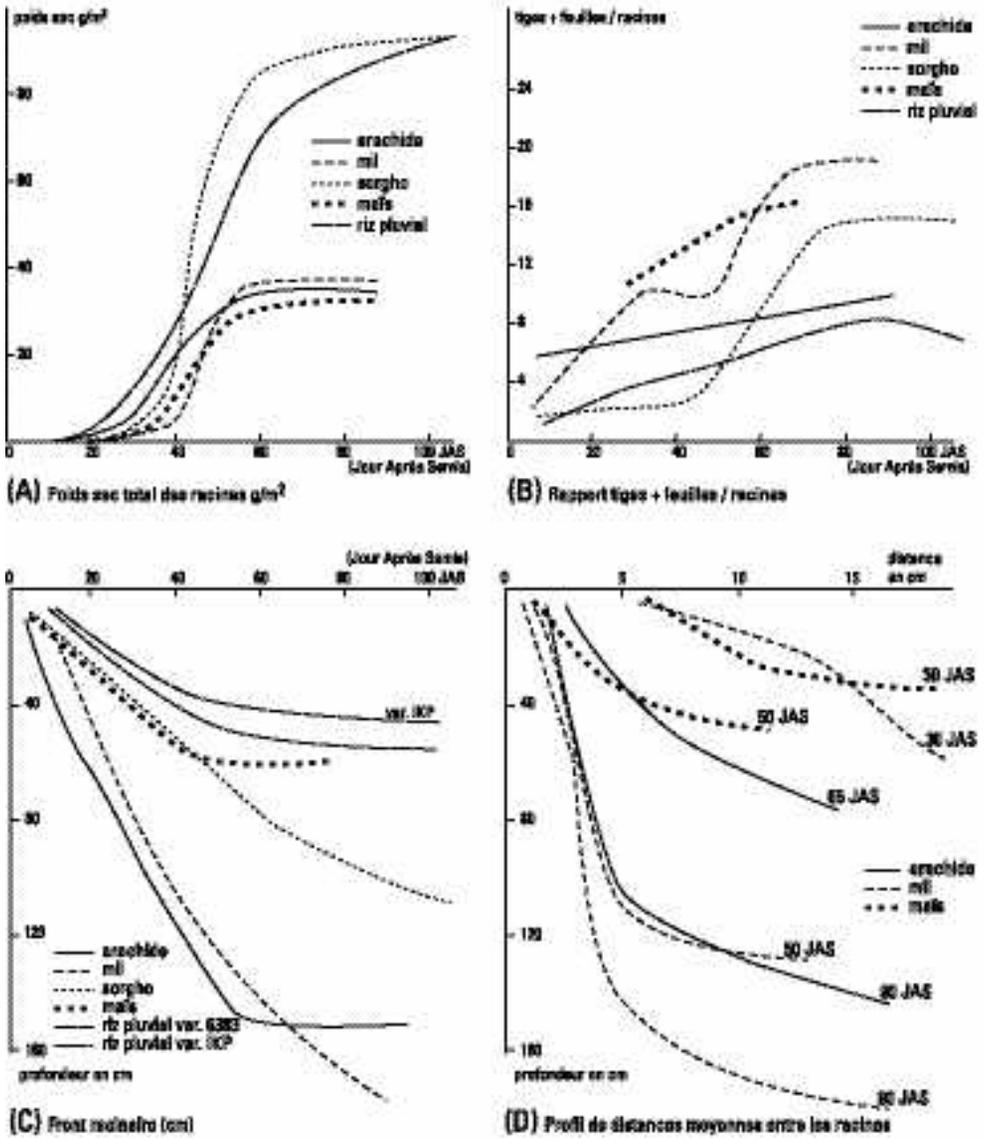
L'état physique du sol après la culture devient, en agriculture fixée, l'état initial du cycle cultural suivant. Pour réaliser l'objectif d'une agriculture durable, il faut que les facteurs abiotiques et anthropiques, même s'ils ont une action positive à l'échelle d'une année, ne conduisent pas à une dégradation à long terme de l'état du sol.

L'enracinement joue donc un rôle central dans le processus d'élaboration du rendement des plantes cultivées dans les environnements où le risque hydrique est élevé. C'est non seulement un élément de diagnostic cultural d'un état du sol mais aussi de pronostic de l'alimentation hydrique et du comportement du peuplement végétal.

● La dynamique des systèmes racinaires

La connaissance même approximative des valeurs moyennes des principales caractéristiques des systèmes racinaires des cultures est un préalable indispensable à l'étude et à la modélisation du bilan hydrique, du fonctionnement de la plante, des relations entre l'état du sol et l'enracinement.

Les dynamiques racinaires de quelques cultures tropicales ont été étudiées dans des sols représentatifs de leur aire principale de culture en Afrique, en vérifiant l'absence d'obstacle à la croissance du front racinaire. Les itinéraires techniques pratiqués étaient ceux habituellement proposés au développement. Malgré ces précautions, il ne s'agit que d'études de cas. Les valeurs présentées sont amenées à fluctuer largement en fonction de facteurs génétiques et édaphiques locaux.



► Figure 2 : Dynamique des systèmes racinaires de quelques cultures : arachide, mil, sorgho et riz pluvial au Sénégal ; maïs en Côte d'Ivoire. Extrait de Chopart (1999).

Systèmes racinaires de quelques cultures (cf. figure 2)

Sorgho (*Sorghum vulgare*)

La progression du front racinaire du sorgho (variété 6318 à cycle de 110 jours) est presque linéaire jusqu'à la récolte. Il atteint alors environ 1 m. Les biomasses aériennes et racinaires restent faibles jusqu'au tallage. La croissance de la plante, spécialement celle des racines, est ensuite très rapide. La biomasse racinaire passe de moins de 5 g/m² à 30 JAS (jours après semis) à près de 75 g/m² à 50 JAS (fin montaison). L'augmentation du poids sec se poursuit jusqu'à la fin de la floraison pour atteindre 90g/m².

Riz pluvial (*Oryza sativa*)

Les trois variétés de riz pluvial étudiées ont des cycles de longueur comparable : 110 jours (IKP) ou 120 jours (63 83, Iguape Cateto). Elles ont des systèmes racinaires ne dépassant pas 60 cm en fin de cycle pour la variété la plus performante et 50 cm pour les autres. La biomasse racinaire est nettement plus grande que celle du sorgho, du mil et du maïs en début de cycle jusqu'à 35 JAS, en relation avec la densité de pieds par m². On a, en fin de cycle, une production de racines de riz d'environ 90 g/m² en bonnes conditions de culture, comme pour le sorgho. Mais le rapport massique parties aériennes/racines est donc nettement plus grand dans le cas du sorgho.

Mil (*Pennisetum typhoides*)

La croissance racinaire du mil (var. souna III, cycle court : 90 jours) est très rapide entre la fin du tallage (30 JAS) et l'épiaison (50 JAS), ce qui correspond également à une très forte augmentation de la biomasse des parties aériennes. Entre ces deux stades, la longueur totale du système racinaire passe de 50 à 1 500 m/m². À la récolte (90 JAS), la longueur totale a encore doublé : 3 000 m/m² pour un poids d'environ 35 g/m².

La progression du front racinaire est d'environ 2 cm par jour jusqu'au début du tallage puis elle devient très rapide (3,5 cm par jour) jusqu'au début de l'épiaison (50 jours). Le front racinaire atteint 2 m en fin de cycle. Pour une culture de mil semée en poquets (1 poquet par m²), les racines peuvent aller dans le sens horizontal jusqu'à plus de 3 m du pied. Le volume total de sol exploré par le système racinaire d'un pied de mil est donc, en moins de deux mois, d'environ 25 m³. Cette aptitude remarquable à occuper rapidement un très grand volume de sol contribue à expliquer l'adaptabilité du mil à des environnements pauvres en eau et en nutriments.

Arachide (*Arachis hypogea*)

La progression du pivot de l'arachide est de 2,7 cm par jour jusqu'à la fin de la floraison, vers 50 JAS pour des variétés à cycle de 100 jours. Le front racinaire se stabilise alors à environ 1,5 m, ce qui est élevé pour une culture dont la hauteur aérienne est de l'ordre de 20 à 30 cm. La longueur totale du système racinaire croît suivant une courbe en S pour atteindre un palier d'environ 1 700 m/m² vers 65 JAS. Le poids total des racines est alors d'environ 35 g/m².

Maïs tropical à cycle court (*Zea mays*)

Dans les conditions de milieu de la zone centre de Côte d'Ivoire et avec une variété à cycle très court (85 jours) cultivée dans la région, l'enracinement du maïs a un développement limité, même sans contrainte particulière. Si la croissance de la biomasse des racines est assez comparable à celles du mil et de l'arachide, la longueur totale des racines est plus faible, de l'ordre de 800 m/m² à son plus fort développement à la fin de la floraison. La profondeur atteinte par les racines est alors seulement d'environ 60 cm.

Canne à sucre (*Saccharum officinarum*)

La progression du front racinaire d'une canne vierge en Côte d'Ivoire est d'environ 0,9 cm/jour pour la période comprise entre la levée et 150 jours après, le poids moyen est de 20 g/m², 35 jours après la levée pour une longueur totale de 500 m/m². À la fin du premier tiers du cycle (100 jours après levée), le poids total est 200 g/m² pour une longueur totale de 4 000 m/m².

LE PROFIL CULTURAL

La mesure de la longueur et de la biomasse racinaire restent des outils de chercheurs. Pour apprécier l'état du système racinaire et l'effet des outils utilisés par l'agriculteur, on utilise une méthode facile à mettre en œuvre et accessible à tous, techniciens comme agriculteurs, celle du *profil cultural*², qui constitue un véritable outil de diagnostic rapide de terrain. Toutefois, cette méthode ne produit pas ou difficilement de données quantitatives.

Cette méthode, utilisée aux moments opportuns en cours de culture, permet de se rendre compte de l'état physique du sol et d'orienter ou de modifier les actions culturales.

Pour réaliser un profil cultural, on dégage un profil de sol perpendiculairement au travail du sol principal et aux lignes de semis. Le but est de mettre en évidence les caractéristiques des diverses couches constituant le terrain, d'examiner la façon dont elles sont exploitées par les racines et d'évaluer dans la mesure du possible les causes de leur différenciation. Le profil cultural est défini comme l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions³.

Les sols : rappels⁴

La texture

La texture est une notion basée sur la composition granulométrique : argile, limons et sables. Sur le terrain, on peut, avec de l'expérience, l'apprécier au toucher. La texture influe sur les propriétés du sol et sa connaissance permet de définir des tendances :

- les sols sableux sont filtrants ;
- les sols où sont associés beaucoup d'éléments fins aux sables ont tendance à se colmater, rendant le sol imperméable et battant ;
- ceux où sont associées suffisamment d'argiles aux autres éléments permettent une structuration qui donne souvent une bonne perméabilité.

On définit ainsi :

- des sols argileux avec plus de 40 % d'argile, ils ont une grande aptitude à la fissuration ;
- entre 25 et 40 % d'argile, on trouve des argiles sableuses et des argiles limoneuses ou de sols sablo-argileux et limono-argileux avec un taux d'argile plus faible. Leur aptitude à la fissuration est moindre ;
- les sols qui contiennent plus de 45 % de limons, limons légers et limons sablo-argileux sont caractérisés par leur faible stabilité structurale ;
- les sols avec plus de 65 % de sables sont appelés sols sableux. Leur principal défaut est l'insuffisance de rétention d'eau.

² Hénin et al., 1969.

³ On différencie le profil pédologique qui décrit le sol modelé par le climat et la végétation naturelle s'exerçant sur la roche mère et le profil cultural qui cherche à mettre en évidence dans un sol cultivé, remanié par l'homme, les effets des techniques culturales et le comportement des racines des cultures.

⁴ Cf. chapitre 413.

La structure

Les éléments texturaux sont assemblés entre eux. Les agrégats ainsi formés sont plus ou moins fragiles. On définit la structure par le mode d'assemblage des constituants du sol à un moment donné. C'est donc un état qui peut évoluer dans le temps sous l'effet de facteurs externes divers. Les formes de structure sont très variées. On a essayé cependant de simplifier l'observation en définissant la taille et la forme des éléments structuraux.

La *taille* est dite petite pour des dimensions de l'ordre du millimètre, moyenne pour des dimensions de l'ordre du centimètre et de grande taille pour celle de l'ordre du décimètre.

Pour la forme, deux groupes sont ainsi définis :

- les structures continues, particulières (les constituants solides sont entassés sans liaison et le sol est sans cohérence) ou massives (le sol forme un bloc unique) ;
- les structures fragmentaires, qui constituent le plus fréquemment les sols cultivés. Les constituants, assemblés en agrégats, sont groupés en éléments structuraux d'aspect anguleux ou sphérique, qui se détachent facilement les uns des autres.

Parmi toutes ces formes, c'est la structure fragmentaire à agrégats arrondis, aussi appelée structure grumeleuse, qui est la plus favorable. Cette structure a en effet l'avantage de faciliter la circulation de l'eau, d'assurer une bonne aération, de faciliter le travail du sol et de permettre une bonne installation et un bon développement des cultures.

La *structure* est un état plus ou moins fragile. Le degré de fragilité se mesure par la stabilité structurale qu'on peut définir par la solidité de l'état structural, c'est-à-dire sa résistance aux agents de dégradation : impact des gouttes d'eau, excès d'eau, tassement en période humide, effet de choc des outils en sol sec. Les matières organiques, les hydroxydes, les cations bi ou trivalents sur le complexe adsorbant (Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++}) consolident les agrégats.

L'amélioration des propriétés physiques du sol facilite l'implantation de la culture et son bon développement. La texture et l'humidité influent sur la facilité à travailler le sol. Elles agissent sur deux propriétés qui sont la cohésion et l'adhésivité :

- la *cohésion* correspond à la capacité qu'ont les particules de rester associées les unes aux autres. Elle est généralement fonction de la teneur en argile ;
- l'*adhésivité* est l'aptitude que présente la terre de coller aux pièces travaillantes. Elle augmente avec le taux d'humidité dans des conditions normales de travail (en excès d'eau, la terre est moins collante mais les conditions de travail sont alors anormales).

● Les objectifs de l'étude du profil cultural

L'étude du profil cultural a de nombreux intérêts.

● Un outil d'évaluation des potentialités agronomiques

On cherche dans ce cas à repérer les principaux problèmes agronomiques dépendant essentiellement des caractères propres au milieu peu ou pas dépendants des actions culturales. Ces problèmes sont liés, par exemple, à une charge élevée en éléments grossiers, à la présence d'horizons compactés ou indurés, à l'hydromorphie, à des accumulations minérales ou organiques etc.

Cette évaluation passe par l'analyse du profil⁵ (cf. chapitre 413) et l'étude de la densité, de la profondeur et de l'aspect de l'enracinement des cultures précédentes ou en place. On peut, à cette occasion, déterminer le volume de terre potentiellement colonisable par les racines et estimer la réserve utile et la profondeur à prendre en compte pour le calcul des bilans minéraux.

⁵ En se limitant toutefois aux horizons explorés par le système racinaire et à l'horizon situé juste en dessous.

● Un outil de pronostic des effets des outils

Il permet la décision et le conseil. Dans ce cas, on cherche à évaluer les effets observables ou prévisibles des actions culturelles sur l'état des couches superficielles et donc sur le développement de la culture. Une évaluation correcte du comportement du sol et de l'évolution de l'état structural sous l'action du climat, combinée avec une bonne connaissance de l'action des outils utilisables et du comportement du peuplement végétal, permet de choisir un itinéraire de préparation du sol et d'intervention en cours de culture. Des observations plus succinctes en cours de culture permettent également de choisir un outil en fonction de l'état structural à un moment donné et du profil cultural qu'on souhaite obtenir. Par exemple, après un travail du sol, quel outil de reprise utiliser pour obtenir le profil désiré ? À quelle profondeur faut-il travailler ?

● Un outil de diagnostic des problèmes en cours ou en fin de culture

Il permet de répondre à une question précise du type : quel est le rôle joué par les caractéristiques structurales de l'horizon cultural dans un accident survenu en cours de culture : flétrissement des plants, chute des organes fructifères etc. ? L'observation de l'enracinement est un élément primordial dans ce type de diagnostic.

● L'interprétation des observations

Les observations sont réalisées à une date donnée, pour un état particulier du profil et éventuellement du peuplement végétal, à une étape déterminée de la réalisation des opérations culturelles. On observe un ensemble d'éléments qui permettent d'établir diagnostic et pronostic. L'interprétation met en jeu de nombreuses connaissances sur le fonctionnement du peuplement végétal, sur le comportement du sol sous l'action du climat et des outils et sur les différents outils de travail du sol.

De nombreux facteurs sont susceptibles de jouer un rôle sur la mise en place et le fonctionnement des racines et on ne peut les maîtriser tous. On privilégie ceux qui peuvent entraîner les effets les plus importants et ceux sur lesquels il est effectivement possible d'intervenir.

Il convient enfin de rappeler qu'un jugement sur les états observés ne peut être formulé qu'en référence à un objectif. Ainsi l'état dit *ouvert*⁶ ne doit pas apparaître comme systématiquement *optimal* : il peut dans certains cas provoquer une dessiccation rapide, un développement de ravageurs ou une sensibilité importante au compactage. Un état plus compact, à une teneur en eau qui rend le sol déformable au moment de l'implantation des racines, peut se révéler plus favorable dans certains cas.

● Un outil d'analyse pertinent

L'étude du profil cultural constitue à elle seule un outil d'analyse et de comparaison pertinent pour raisonner le travail du sol. Sur le terrain, le praticien n'a pas toujours le temps ou les moyens de réaliser ce type d'analyse de manière complète et sur de nombreuses parcelles. Cependant, des observations succinctes et incomplètes se révèlent souvent suffisantes pour améliorer le travail du sol et élaborer des itinéraires techniques adaptés.

6 Dominance de structure fragmentaire, sans mottes décimétriques ni cavités importantes et avec une abondance de terre fine.

Ainsi, malgré le développement des méthodes quantitatives d'évaluation de l'état des horizons culturaux⁷, l'observation au champ reste une étape simple, accessible et riche en enseignement qu'il faut pratiquer pour évaluer l'effet du passage d'un outil de travail du sol, l'enracinement d'une culture, la qualité d'un semis et donc relier une caractéristique mesurée ou observée aux techniques culturales précédemment utilisées.

LA TRANSFORMATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

Après la récolte, le profil cultural se trouve dans un état qu'il va falloir modifier pour pouvoir implanter la culture suivante. Pour atteindre ce but, on peut compter sur deux types de facteurs :

- > *les facteurs naturels* que l'on ne maîtrise généralement pas, même si quelquefois on peut les orienter. Ce sont *les facteurs climatiques* qui interviennent par humectation-dessiccation ou par l'action du gel et *les facteurs biologiques*, avec l'action des racines, de la faune et de la flore ;
- > *les facteurs mécaniques*, issus du travail du sol et qui complètent l'action des facteurs naturels.

● **L'évolution du profil cultural**

● **Les cycles d'humectation et de dessiccation**

C'est un facteur important lié aux phénomènes de gonflement et de retrait provoqués par les variations d'humidité. Ces phénomènes sont cependant très dépendants de la teneur du sol en argile et du type d'argile présent. Les sols sableux sont insensibles à ce phénomène, ainsi que certains sols limono-sableux ou même argilo-sableux.

● **L'action du gel**

Elle varie en fonction de l'état d'humidité du sol et de son état de division tant au moment du gel qu'au moment du dégel. Le gel n'améliore la structure des sols compacts que si un bon drainage et une structure en grosses mottes limitent les remontées d'eau lors du gel et assurent son écoulement rapide au dégel.

● **L'action des être vivants**

● **Les racines**

C'est le moyen le plus efficace d'améliorer la structure, au point que l'introduction de jachère est considérée comme l'une des meilleures sources d'amélioration de la fertilité du sol.

⁷ Densimétrie, humidité, analyses des systèmes de porosité, résistance mécanique, pénétrométrie...

Les racines ont deux modes d'action :

- > les extrémités secrètent des substances qui sont capables soit de dissoudre soit d'hydrolyser les roches sur lesquelles elles sont implantées. Ces décompositions leur permettent de nourrir la plante. Elles laissent ensuite un résidu riche qui va participer à la formation du complexe argilo-humique ;
- > elles recyclent les éléments solubles entraînés par lessivage en les remontant dans les parties aériennes.

● **La faune**

Le sol est un milieu vivant, il contient de nombreuses espèces d'insectes, acariens, mollusques et crustacés. Quand les matières organiques sont en surface, trois types de faune se développent facilement :

- > la faune épigée qui vit dans la litière de surface ;
- > la faune endogée qui vit dans le sol en creusant des galeries horizontales ;
- > la faune anécique, correspondant aux gros vers de terre qui circulent entre la surface du sol et les couches profondes, participant ainsi à l'enfouissement de la matière organique.

● **La flore**

La flore peut avoir deux actions distinctes : décomposition de la matière organique et aide à l'absorption par les racines :

- > dans la zone superficielle la faune fragmente la matière organique et l'expose ainsi aux attaques de la flore de décomposition : champignons et actinomycètes ;
- > juste en dessous, dans la partie superficielle du sol, les bactéries de décomposition minéralisent le *mulch* issu de la zone superficielle ;
- > dans la terre, se développe la flore d'humification et la flore d'absorption localisée autour des radicelles (*rhizosphère*). Cette flore d'absorption permet, en association avec les radicelles, d'utiliser les substances nutritives provenant de la surface par lessivage et de minéraliser l'humus stable. Elle participe également à la décomposition des roches.

Les effets bénéfiques de l'action des êtres vivants s'observent à travers l'effet de granulation de la structure, résultat de leurs actions combinées.

● **L'action de l'homme par le travail du sol**

Le travail du sol complète les actions du climat, des micro-organismes et des racines des plantes. Il est donc plus ou moins important en fonction du type de sol et de son environnement. Deux buts sont recherchés lors de la réalisation du travail du sol :

- > débarrasser la parcelle des mauvaises herbes, des parasites animaux ou végétaux, et des résidus gênants de la culture précédente ;
- > faciliter la mise en place et l'implantation des cultures en favorisant l'approvisionnement en eau, en augmentant la circulation de l'air dans le sol, en régulant la température et en réduisant les anomalies structurales : tassement, battance, lissage, etc. Il s'agit alors d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

Si la préparation du sol a pour objet principal de modifier sa structure, elle a également d'autres fonctions : incorporation de résidus végétaux, des engrais, etc. Il faut donc raisonner la préparation du sol en terme d'itinéraire technique.

● Les mécanismes et les effets du travail du sol

Le travail du sol peut en améliorer les propriétés physiques par :

- > l'exposition des mottes prises en masse aux alternances de dessiccation et d'humectation ;
- > la fissuration des structures massives, des semelles compactes et des croûtes, ce qui permet d'augmenter la porosité et favorise le développement des racines ;
- > le mélange des engrais chimiques et organiques au profil.

Il participe aussi à la régulation de la circulation de l'eau dans le sol en favorisant l'écoulement de l'eau en excès, en retenant l'eau de pluie et en limitant l'évaporation par réalisation d'une couche sèche en surface (*mulch*).

Pour parvenir à l'état souhaité, une série d'effets sont recherchés.

Tableau 1. Les principaux effets recherchés par le travail du sol

Effet	Définition
Eclatement	passage de l'état massif non fissuré à l'état massif fissuré
Ameublissement	passage de l'état massif à l'état massif fragmentaire
Enfouissement	mise sous terre des débris végétaux, engrais, etc.
Création d'un relief de surface	augmentation de la surface soumise aux effets du climat
Tri mottes-terre fine	mise en surface de mottes pour protéger le lit de semence de la battance
Rappuyage	réduction du volume des espaces libres entre les mottes
Mélange	répartition des débris végétaux, engrais, produits phytosanitaires
Effacement d'un relief de surface	nivellement du sol
Emiettement	réduction de la taille des mottes et formation de terre fine

En général plusieurs opérations culturales sont nécessaires pour passer de l'état de départ à l'état du semis. Chaque opération est caractérisée par des objectifs intermédiaires (effets recherchés) et correspond à un passage d'outil.

Des éléments sur les principales techniques de travail du sol en culture attelée sont également présentés dans le chapitre 438.

Tableau 2. Les principales opérations culturales et leurs effets recherchés

Opération culturale	Effet(s) recherché(s)
Décompactage	éclatement de la zone compactée sous le labour
Déchaumage	mise en contact des résidus de récolte avec le sol germination des graines de mauvaises herbes présentes dans les premiers centimètres émiettement de la couche superficielle avant labour
Labour	enfouissement des résidus de récolte destruction des adventices et de certains parasites ameublissement du profil
Pseudo-labour	ameublissement du profil
Travail localisé	ameublissement de la couche superficielle (10cm) enfouissement des résidus
Préparation du lit de semence	émiettement des premiers centimètres tri des mottes et de la terre fine pour protéger la surface de la battance
Roulage	rappuyage du sol pour assurer un meilleur contact entre graine et particules de terre

● Les effets nocifs du travail du sol

La disponibilité d'énergie facile à mettre en œuvre peut entraîner la réalisation de travaux du sol dans des conditions ou selon des modalités inappropriées et engendrer des détériorations importantes du profil, comme par exemple :

- > un retournement excessif du sol, remontant de la terre infertile de profondeur ;
- > un travail en sol humide, provoquant une compaction importante ;
- > un travail trop rapide, produisant beaucoup de terre fine.

D'une façon générale, le travail profond du sol ne doit pas être réalisé s'il n'est pas nécessaire. Il risque de bouleverser l'équilibre biologique du sol, facteur important d'amélioration de la structure. Il est donc essentiel de savoir observer le sol avant d'entreprendre une intervention culturale.

LES OUTILS DE TRAVAIL DU SOL

L'amélioration de la structure par le travail du sol est généralement réalisée par une succession d'opérations culturales, correspondant chacune à un passage d'outil. La gamme d'outils existant sur le marché est aujourd'hui très diversifiée et permet d'obtenir de nombreux effets.

● *Le mode d'action des outils*

Les outils de travail du sol agissent par plusieurs mécanismes physiques :

- > le fendillement se manifeste en avant des outils et caractérise tous les outils travaillant en sols massifs tels que décompacteur et chisel ;
- > le sectionnement est produit par des pièces travaillantes tranchantes : cultivateurs rotatifs, machines à bêcher, charrues, outils à disques ;

- > le cisaillement, produit par des pièces mobiles les unes par rapport aux autres, est très efficace pour émietter les mottes grosses ou dures avec des herse rotatives et alternatives ;
- > le choc des mottes entre elles, contre les pièces travaillantes ou les parties fixes de l'appareil, caractérise tous les outils à dents et ceux munis de carters ou de grilles ;
- > le frottement des mottes entre elles ou contre les pièces travaillantes réduit leur dimension et crée de la terre fine avec tous les outils ;
- > l'écrasement par des rouleaux et pneumatiques réduit également la dimension des mottes ;
- > le déplacement latéral par les outils à dents sépare en surface la terre fine des mottes ;
- > le déplacement vertical remonte les mottes sur la terre fine et caractérise les herse, cultivateurs et vibroculteurs ;
- > la projection réalisée par les cultivateurs rotatifs remonte également les mottes à la surface ;
- > le retournement en bloc du profil caractérise enfin les charrues.

● **Les différents outils**

Les différents outils de travail du sol présentés ci-dessous concernent autant les équipements motorisés que les équipements à traction animale. Cependant, si une gamme importante d'outils est à la disposition des utilisateurs de tracteurs, la variété d'outils disponibles en traction animale reste limitée à cause du faible niveau d'énergie que les animaux peuvent mettre en œuvre. Les deux types de matériels seront systématiquement présentés quand ils existent.

● **Les décompacteurs**

Les décompacteurs sont utilisés pour ameublir des horizons compactés, correspondant soit à la couche arable (pseudo-labour), soit à une couche de 10 cm sous le labour (décompactage).

La profondeur de travail varie ainsi de 35 à 60 cm en fonction de l'équipement utilisé :

- > décompacteur léger, dégagement sous bâti entre 60 et 75 cm (pseudo labour) ;
- > décompacteur lourd, dégagement sous bâti entre 75 et 110 cm (décompactage).

L'éclatement ne se produit que si le sol est à une consistance friable ou dure. Il est d'autant plus important que la dent et surtout le soc sont larges. Les dents de forme oblique ne bouleversent pas la surface du sol, ce qui permet de réaliser un semis directement après leur passage. Les dents des décompacteurs animés vibrent dans le sol, ce qui augmente l'éclatement.

Pour des sols moyens, avec un décompacteur de 3 corps, on estime qu'il faut pour le pseudo-labour, 0,8 h/ha pour un tracteur de 130 ch consommant 15 l/ha et pour le décompactage un temps identique avec un tracteur de 140 ch consommant 20 l/ha.

En traction animale, on utilise le terme improprement compte-tenu de la profondeur travaillée : 10-15cm. Cependant les outils utilisés ont la même action que les décompacteurs.

L'outil de base est le *coutrier*, qui a fait l'objet de nombreuses copies dans les pays où il est construit par les artisans locaux. Son utilisation en conditions sèches provoque un éclatement du sol favorisant l'infiltration de l'eau et limitant les risques d'érosion éolienne.

● Les machines à bêcher

La machine à bêcher est utilisée à la place de la charrue pour ameublir la couche arable dans les sols argileux à consistance semi-plastique, pour mieux utiliser la puissance du tracteur en supprimant l'effort de traction ou pour maîtriser le degré d'émiettement.

Ce sont des machines qui reproduisent l'action de l'homme qui bêche. Elles sont actionnées par la prise de force du tracteur. Les pièces travaillantes sont des bêches mises en mouvement par un système de bielle-manivelle. Le degré d'affinage s'ajuste en faisant varier la vitesse d'avancement et la vitesse de rotation des bêches.

Pour un sol moyen, avec un machine de 2,8 m de large, on estime qu'il faut 1,5 h/ha, pour un tracteur de 85 ch consommant 19 l/ha.

● Les charrues

Les charrues ameublissent, enfouissent et mélangent. Ce sont des outils complexes par leur mode d'action, leurs réglages et les nombreux équipements complémentaires qui influent sur le travail réalisé.

● Les charrues à socs

C'est un équipement très commun, dont les pièces travaillantes sont le soc qui découpe le sol et le versoir qui retourne le ruban découpé. Elles sont reliées au bâti ou âge par un étançon. Pour bien enfouir les débris végétaux, on utilise une rasette qui positionne en fond de raie la matière organique présente sur la surface interne de la bande labourée. On trouve différents types de versoirs et une variété importante d'équipements complémentaires : coutres, socs, rasettes, sécurités, talons.

Il existe des charrues réversibles avec lesquelles on réalise des labours à plat et des charrues simples avec lesquelles on réalise des labours en planche. Dans ce dernier cas, le travail est réalisé soit en adossant, soit en refendant.

Pour une terre moyenne, avec une charrue trisoc, on estime qu'il faut 1,8 h/ha pour un tracteur de 90 ch consommant 28 l/ha.

En traction animale, la charrue à soc est un outil assez répandu dans les zones où l'enherbement est un problème au moment de la mise en place des cultures : c'est la fonction nettoyage qui est alors prépondérante. Les charrues utilisées sont généralement des charrues simples, moins chères à l'achat. Elles sont tirées par une paire de bœufs ou plusieurs chevaux (en Afrique du Sud par exemple). Longtemps importées ou fournies par des entreprises industrielles locales, elles sont aujourd'hui fréquemment construites par les artisans locaux. On trouve également des éléments de charrue adaptables sur les multiculteurs⁸.

⁸ Les multiculteurs sont des outils polyvalents composés d'un bâti sur lequel peuvent se monter des éléments de reprises (cultivateur), des éléments de sarclage, souvent un corps buteur et quelquefois un corps de charrue. Il en existe pour tous les type de traction animale : traction asine, équine et bovine.

● **Les charrues à disques**

Elles sont équipées de disques de grand diamètre dont le plan est oblique par rapport à la surface du sol, ce qui permet un retournement de la terre. Elles étaient utilisées dans les sols caillouteux mais sont de plus en plus remplacées par des charrues à socs équipées de sécurités non-stop. On considère qu'elles émiettent fortement le sol et sont donc fortement déconseillées dans les régions où les risques de pluies violentes sont importants.

Pour un sol moyen avec une charrue à 4 disques, on estime qu'il faut 1,75 h/ha avec un tracteur de 90 ch consommant 26 l/ha.

● **Les cultivateurs à dents**

On regroupe sous ce nom des outils qui se différencient par leur dégagement sous bâti et par la forme de leurs dents. Les cultivateurs lourds sont adaptés au déchaumage ou au pseudo-labour, on les appelle dans ce cas des chisels. Les cultivateurs légers sont plutôt utilisés en préparation du lit de semence. Les dents peuvent être rigides ou souples. Les dents souples sont mieux adaptées au déchaumage et aux reprises superficielles. Les types de socs ainsi que les équipements complémentaires sont très variés : herses, bêches roulantes, cages roulantes.

Pour un sol moyen, on estime qu'il faut, avec un cultivateur lourd de 4 m de large, 0,5 h/ha pour déchaumer avec un tracteur de 100 ch consommant 10 l/ha et un temps identique pour effectuer un travail profond avec un tracteur de 110 ch consommant 11 l/ha.

En traction animale, les cultivateurs sont généralement des outils de reprise de labour ou de pseudo-labour. La plupart du temps ce sont des dents plates à ressort qui sont utilisées. En Afrique de l'Ouest, on les trouve souvent associés aux équipements de sarclage et de buttage. On les appelle alors des multiculteurs.

● **Les pulvérisateurs à disques**

Ce sont des outils équipés de trains de disques verticaux dont le plan est perpendiculaire au sol. Ils travaillent obliquement à l'avancement, comme les charrues à disques. Ils ont une action d'émiettement importante. Ils mélangent les débris végétaux à la terre et sont généralement employés pour les reprises de labour, le déchaumage ou pour la préparation du lit de semences. Ils regroupent des outils variés quant au nombre, à la disposition des disques ainsi qu'au poids par disque. Ainsi la gamme légère a un poids par disque inférieur à 60 kg, la gamme moyenne entre 60 et 80 kg et la gamme lourde plus de 80 kg. On trouve des disques lisses ou crénelés. Pour un sol moyen avec pulvérisateur de 3,5m, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 110 ch consommant 12 l/ha.

En traction animale, il existe quelques matériels de ce type mais la faible vitesse des animaux limite leur effet et de ce fait leur intérêt.

● **Les bêches roulantes**

Elles sont composées d'un axe horizontal sur lequel sont fixées des bêches ou des dents qui sont mues par leur frottement au sol. On les utilise pour des déchaumages et des reprises de labour.

En motorisation, elles sont généralement par deux, le premier train entraînant le second. Pour un sol moyen avec un outil de 3 m de large, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 9 l/ha.

En traction animale, certains outils ont utilisé ce principe : il s'agissait de *rotary hoe*, qui avait pour objectif de casser les grosses mottes après des labours en sec. Plus récemment, le CIRAD a mis au point un roliculteur dont l'objet était de remplacer le travail aux dents en façon superficielle dans les terres sableuses. Son prix, compte-tenu de l'environnement économique du moment, a limité sa diffusion.

● Les cultivateurs rotatifs

Ce sont des outils actionnés par la prise de force, utilisés quelquefois pour les préparations sans labour mais surtout pour les reprises ou déchaumage. Les puissances nécessaires à leur entraînement sont importantes. Le degré d'affinage est fonction de la vitesse de rotation des rotors et de celle du tracteur. On en trouve de deux types :

- > les cultivateurs rotatifs à axe vertical, composés de plusieurs *toupies* équipées de dents qui tournent autour d'un axe vertical. Elles sont souvent associées à un rouleau arrière qui, en plus de contrôler la profondeur de travail, participe à l'émiettement et au nivellement du sol. Pour un sol moyen avec un cultivateur rotatif de 3 m, on estime qu'il faut 1 h/ha, avec un tracteur de 125 ch consommant 22 l/ha pour un travail profond et 20 l/ha pour un travail superficiel ;
- > les cultivateurs rotatifs à axe horizontal⁹. Ils sont composés d'un rotor horizontal sur lequel sont fixées des dents de formes variables. Ils sont généralement utilisés pour des reprises ou des préparations de lit de semences. Ils sont souvent associés à des semoirs. Pour un sol moyen avec un cultivateur de 3 m de large, on estime qu'il faut 0,9 h/ha avec un tracteur de 130 ch consommant 17 l/ha.

● Les herse animées

Ce sont des outils de reprise superficielle. Elles sont donc utilisées pour parfaire le lit de semences et, de ce fait, souvent associées à un semoir. Elles sont toujours associées à un rouleau arrière qui permet de rasseoir le sol et de contrôler la profondeur avec précision. On en trouve deux types :

- > les herse alternatives qui comportent deux rangs de dents animés d'un mouvement alternatif. Elles sont mieux adaptées aux sols à comportement intermédiaire. Pour un sol moyen avec herse de 3 m combinée à un semoir, on estime qu'il faut 1 h/ha avec un tracteur de 90 ch consommant 9 l/ha.
- > les herse rotatives, dont la conception ressemble aux cultivateurs rotatifs à axe vertical. Elles peuvent travailler en terrain argileux. Pour un sol moyen avec herse de 3 m combinée à un semoir, on estime qu'il faut 0,9 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 12 l/ha.

⁹ On les appelle aussi improprement rotavators.

● Les vibroculteurs

Ce sont des outils équipés de dents à ressorts qui sont bien adaptés à la reprise superficielle ou la préparation du lit de semence. Ils sont souvent équipés d'un rouleau arrière qui rappaie sur le sol et contrôle la profondeur. Pour un sol moyen avec un vibroculteur de 5 m de large, comportant 4 rangs de dents, on estime qu'il faut 0,3 h/ha avec un tracteur de 120 ch consommant 7 l/ha.

● Les herSES

Outils très classiques dont l'action est de trier les mottes de la terre fine, elles sont surtout utilisées pour la préparation du lit de semence. En motorisation, pour un sol moyen avec herse de 5 m de large, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 7 l/ha. En traction animale, on trouve quelquefois des herSES qui servent à préparer le lit de semence quand il n'y a pas eu d'herbe enfouie au labour.

● Les rouleaux

Ce sont des équipements utilisés pour réduire la porosité du sol. Certains¹⁰ prolongent l'action des outils de préparation en émiettant la couche superficielle. En traction animale, les rouleaux sont peu utilisés en système traditionnel. En itinéraire de semis direct, le rouleau *couteaux* est employé pour détruire la couverture vivante avant le semis.

Bibliographie

- BAIZE D. JABIOL B., 1995. *Guide pour la description des sols*. INRA Editions, Paris, France, 375 p.
- BARTHELEMY P., BOIGONTIER D, LAJOUX P., 1991. *Choisir les outils de travail du sol*. ITCF, Paris, France, 196p.
- CHOPART J.L. 1985. *Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse en zone intertropicale*. In :«Pour une lutte intégrée contre la sécheresse”. CILF édit. Paris, p. 145-154.
- CHOPART J.L. 2001. *Comment évaluer in situ les racines des cultures ? Guide pratique de différentes méthodes d'étude racinaires*. Cédérom CIRAD 58 diapos.
- GAUTRONNEAU Y., MANICHON H., 1987. *Guide méthodique du profil cultural*. CEREF-ISARA, Lyon, France, 71 p.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969. *Le profil cultural*. Masson et Cie édit., Paris, 332p.
- LE THIEC G., 1996. *Agriculture africaine et traction animale*. Collection Techniques, CIRAD, Montpellier, France, 355 p.
- MICHAUX F., juin 1988. *Fertilité physique et travail du sol* Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes, Lyon, France, classeur de fiches 101 p.
- PIROT R., 1998. *La motorisation dans les cultures tropicales*. Collection Techniques, CIRAD, Montpellier, France, 351 p.
- SOLTNER D. 1995. *Les bases de la production végétales (tomes I et II)*. Edition Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemme-sur-Loire, France.

¹⁰ Croskill.

La gestion de la fertilité

À partir des contributions de P. Dugué (CIRAD) et J. Gigou (CIRAD)

LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Dans la biosphère, les éléments sont l'objet d'échanges en permanence entre les différents compartiments.

● *Dans les plantes*

● La mobilisation des éléments

Seize éléments sont indispensables pour la croissance et la fructification des plantes. Quelques autres éléments sont utiles pour certaines espèces. Tous les autres éléments chimiques peuvent se trouver dans les plantes, mais ils ne sont pas indispensables à leur croissance. S'ils sont trop abondants, ils peuvent devenir toxiques (voir tableau 1).

Le carbone provient du CO₂ de l'air ; l'oxygène et l'hydrogène proviennent de l'eau. Les autres éléments proviennent normalement du sol, mais les feuilles ont la capacité d'absorber certains éléments, en faibles quantités, à leur contact. Les racines absorbent très efficacement et sélectivement les éléments minéraux se trouvant à proximité. Elles absorbent les éléments utiles à la constitution des tissus végétaux et font généralement barrière pour les éléments trop abondants ou toxiques. Néanmoins, des différences sensibles entre espèces et cultivars sont connues quant à la tolérance aux ions calcium, sodium, aluminium, ammonium, nickel, etc.

La rhizosphère, zone du sol au contact de la racine, est modifiée par l'absorption de certains éléments minéraux, par la modification des teneurs en O₂ et par l'excrétion de substances organiques. La croissance des racines permet d'explorer progressivement tout le sol. Quand la croissance s'arrête, la mobilisation des minéraux par les racines est ralentie ou arrêtée. Les champignons associés aux racines, les mycorhizes, favorisent l'absorption de minéraux peu mobiles, comme le phosphore.

Les besoins des plantes varient au cours du cycle. Pour les variétés à haut rendement, ils sont très importants au moment de la formation des organes de stockage et un complément d'engrais est toujours nécessaire pour que les variétés améliorées expriment tout leur potentiel, ce qui n'est pas toujours intéressant sur le plan économique.

● Les carences minérales et la toxicité

Les maladies de carence sont dues à l'insuffisance d'un élément minéral. Pour prouver qu'il s'agit bien d'une carence, on peut soit faire disparaître les symptômes par l'apport de l'élément sur la culture en place, soit empêcher les symptômes

d'apparaître par l'apport précoce de cet élément. On distingue, les carences absolues ou primaires quand l'élément manque dans le sol, des carences induites ou carences conditionnées, quand l'élément existe en abondance mais ne peut être absorbé parce qu'il est insoluble. C'est souvent une question de pH. Dans ce cas, il ne suffit pas d'apporter l'élément pour qu'il soit assimilé, car il peut être bloqué rapidement dans le sol.

La toxicité apparaît quand l'élément est trop abondant ou trop soluble, soit que les plantes l'absorbent en trop grande quantité, soit que sa présence dans la rhizosphère empêche l'absorption d'autres éléments. Ainsi le *bronzing* du riz inondé est dû à l'excès de fer ferreux ; la toxicité aluminique est due à la solubilité de l'aluminium à pH acide ; l'excès de sel empêche la croissance des plantes.

On combat la toxicité soit en supprimant la cause¹, soit en cultivant des variétés ou des espèces adaptées, qui s'accommodent de ces contraintes.

Les carences, les toxicités ou simplement les déséquilibres entre éléments minéraux, sont souvent accompagnés de maladies de faiblesses des plantes.

● Les réponses des plantes aux éléments minéraux

La loi du minimum de Liebig a été énoncée par ce chimiste allemand au XIX^e siècle : c'est surtout le facteur le plus éloigné de son optimum qui limite la production. Les actions sur les autres facteurs sont peu efficaces tant que l'on n'a pas corrigé le facteur le plus limitant. Si l'on corrige l'élément le plus limitant, c'est un autre qui prend sa place, avec un rendement plus élevé.

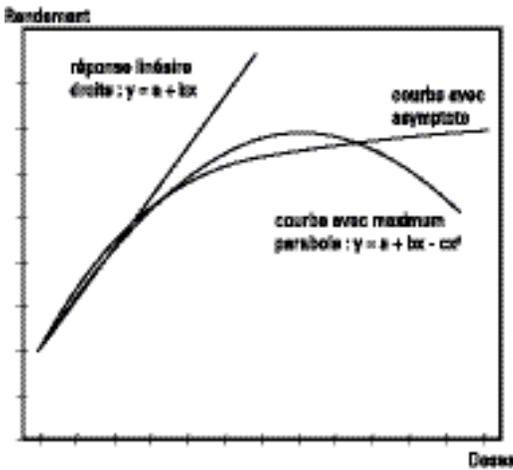
On peut corriger successivement tous les facteurs limitants modifiables, jusqu'à obtenir le rendement potentiel qui ne dépend plus que de facteurs non modifiables, par exemple l'eau (en culture pluviale), la lumière, la teneur en CO₂, etc.

La modélisation est facile : $Rdt = Rmax (1-A)(1-B)(1-C)$ où A, B, C, sont des nombres compris entre 0 et 1 qui expriment le niveau de carence des différents facteurs.

La loi des accroissements moins que proportionnels

Elle stipule que la réponse à un élément isolé diminue quand la dose augmente. Pour les faibles doses, l'augmentation du rendement est proportionnelle à la quantité d'éléments nutritifs apportée, par exemple 20 kg de grain de maïs par unité d'azote. La courbe de réponse correspondante est une droite : la réponse est linéaire. Pour des doses plus fortes, l'augmentation du rendement est de plus en plus faible, puis devient nulle. Suivant les éléments, pour les fortes doses, la courbe de réponse peut tendre vers une asymptote, par exemple pour le phosphore qui n'a pas d'effet toxique, ou passer par un maximum puis diminuer quand l'excès entraîne des déséquilibres nutritionnels ou des fragilités structurelles comme la verse des céréales due à un excès d'azote. La figure 1 montre les différentes formes possibles des courbes de réponse.

¹En oxydant le fer ferreux en ferrique, moins soluble ; en chaulant pour augmenter le pH jusqu'à 5,5 et faire passer l'aluminium sous des formes chimiques moins assimilables ; en lessivant les sels solubles par le drainage hors de la zone racinaire.



► Figure 1 : Les formes des courbes de réponse

Il peut être intéressant de distinguer la mobilisation de l'élément et l'efficacité de l'élément absorbé pour produire une récolte. Par exemple, une mauvaise efficacité de l'engrais azoté sur céréales peut être due soit à l'absence d'absorption de l'azote, parce qu'il est immobilisé dans le sol ou perdu par lixiviation, dénitrification ou volatilisation, soit parce que, absorbé en abondance, il entraîne un excès de croissance végétative aux dépens de la production de grains.

● Le diagnostic par analyse des végétaux

L'analyse visuelle des symptômes de carence est la première approche d'un problème de croissance des plantes. Mais les signes foliaires sont souvent ambigus : un jaunissement des feuilles peut être dû à des carences en divers éléments ou à des maladies. Certaines déficiences minérales ne se traduisent par aucun symptôme visible au stade végétatif, mais bloquent la phase reproductive (stérilité) ; l'apport de l'élément manquant permet dans ce cas une augmentation spectaculaire du rendement.

Le diagnostic par analyse chimique des plantes est réalisé sur des organes prélevés dans des conditions précises d'échantillonnage. Les résultats sont excellents pour certaines cultures : la plupart des cultures arbustives, les cultures irriguées, etc. Mais pour d'autres cultures il s'est révélé décevant, comme les céréales de culture pluviale pour lesquelles il y a de grandes interférences avec l'alimentation hydrique, ou les caféiers et les cacaoyers cultivés sous ombrage, sur lesquels il est bien difficile d'échantillonner des rameaux représentatifs. Enfin, le diagnostic par analyses des végétaux ne donne d'indications que sur un état ponctuel de la relation entre la culture et le milieu cultivé. La répétition de ce diagnostic sur des plantations pérennes permet de prendre en compte des aspects dynamiques de cette relation sans toujours anticiper sur certaines évolutions qui peuvent gêner ultérieurement la culture, comme l'acidification du sol.

● Dans les sols

Les éléments absorbés par les plantes proviennent surtout des formes les plus solubles, et très peu des éléments insolubles qui sont lentement libérés. Un équilibre dynamique existe entre les formes chimiques présentes dans le sol, si bien que les éléments assimilables ne forment pas une catégorie bien définie. Quand les formes assimilables sont abondantes, par exemple après des apports d'engrais minéraux ou de cendres, elles se transforment en formes non assimilables. Et inversement, quand on épuise les éléments assimilables, par exemple par la croissance des arbres dans les jachères, des éléments peu solubles sont progressivement mobilisés. Nous allons donner les principaux faits pour chaque élément ou groupe d'éléments.

● L'azote

Dans la biosphère, l'azote s'échange entre des compartiments très inégaux (cf. figure 2). C'est l'azote gazeux N_2 de l'atmosphère qui joue le rôle de réserve. Une toute petite partie est utilisée par les êtres vivants. Le sol contient environ 1 ‰ d'azote dans les horizons de surface, soit 3 t/ha dans les 20 premiers centimètres. Certains micro-organismes peuvent utiliser l'azote de l'air et le transformer en azote organique, par la fixation biologique de l'azote. Tous les autres êtres vivants utilisent l'azote combiné. Les plantes absorbent l'azote présent dans la solution du sol sous forme minérale², en quantités variables selon les saisons.

Toute la réserve d'azote du sol est sous forme organique : elle est lentement minéralisée sous forme d'ammoniaque puis de nitrate si les conditions sont favorables à la nitrification. En rizière, les conditions sont réductrices et l'azote reste sous la forme ammoniacale : il n'est pas nitrifié. Heureusement, le riz irrigué est capable d'utiliser l'azote ammoniacal. Dans les sols exondés très acides la nitrification peut être également déficiente et les plantes nitrophiles (maïs, blé, orge...) peuvent souffrir d'un excès d'ammonium.

L'azote ammoniacal est retenu sur le complexe adsorbant du sol et n'est pas entraîné par les eaux de percolation. Il peut par contre se volatiliser sous forme de gaz ammoniac, NH_3 , à partir de la surface du sol si le pH est basique. Cela peut se produire avec de l'urée ou des lisiers apportés en surface sur un sol sableux acide car l'hydrolyse de l'urée produit de l'ammoniaque, basique, qui augmente localement et temporairement le pH. L'enfouissement des engrais ammoniacaux limite beaucoup les risques de volatilisation.

Les nitrates ne sont pas retenus par le sol : ils peuvent être entraînés par l'eau qui ruisselle ou qui draine vers les nappes phréatiques, et devenir polluants. En cas d'engorgement du sol, les nitrates peuvent être dénitrifiés en N_2 et en gaz à effet de serre NO_x . Ce phénomène se produit en particulier lors de la mise en eau des rizières, mais il peut se produire aussi dans des sols exondés lors d'épisodes temporaires d'anoxie liés à la décomposition de matières organiques enfouies³ en saison pluvieuse.

Les engrais azotés, qu'ils soient sous forme nitrique ou ammoniacale, sont intégrés dans les cycles d'organisation/minéralisation de l'azote du sol. Seule une petite partie de l'azote des engrais est directement absorbée par la plante.

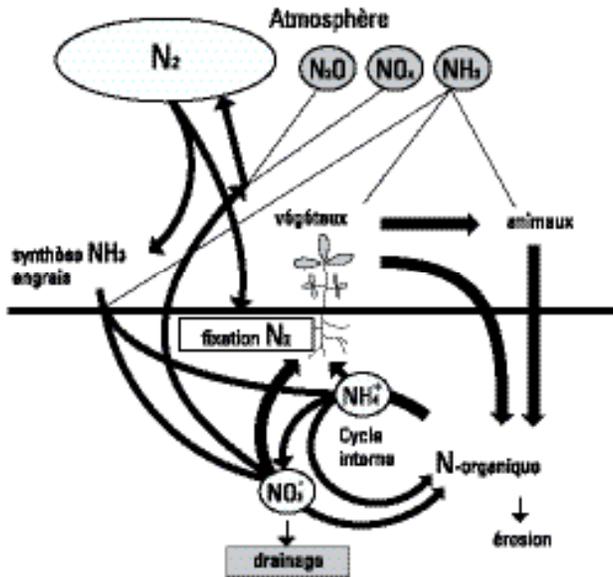
² Nitrique ou ammoniacale.

³ Pseudo-troncs de bananiers, verts d'ananas ou de cannes, engrais verts.

Même dans les cultures fortement fertilisées, une partie importante de l'azote absorbé par les plantes provient de la minéralisation de l'azote organique du sol.

Les animaux ont besoin d'azote, notamment pour la synthèse de leurs protéines. Mais ils éliminent une grande partie de l'azote contenu dans leur alimentation, sous forme de fèces solides et liquides affectés par des pertes par volatilisation de NH_3 .

Dans les terres cultivées depuis longtemps et régulièrement fertilisées, c'est souvent l'azote qui est le principal facteur limitant la croissance des cultures ; la production dépend alors directement des apports d'azote sous forme d'engrais minéral ou organique.



► Figure 2 : Le cycle de l'azote. En grisé, les fuites polluantes

Le cycle de l'azote, source de plusieurs types de pollution

- les nitrates dans les nappes phréatiques, en particulier auprès des sites d'élevage intensif ;
- N_2O , gaz à effet de serre qui séjourne très longtemps dans l'atmosphère et interfère avec l'ozone, qui est émis par les rizières et les sols engorgés et aussi par les sols bien drainés ;
- NH_3 et NO_x (NO , NO_2 , etc.) sont émis par les plantes, les sols, les animaux et les résidus d'élevage, les feux. Ils séjournent pendant un certain temps dans l'atmosphère puis retombent sur le sol (pluie ou dépôt direct).

● Le phosphore

Il y a plusieurs tonnes de phosphore dans le premier mètre de sol, mais seulement quelques centaines de grammes sont en solution et peuvent être absorbées par les racines. La partie en solution est renouvelée en permanence à partir des autres formes minérales et organiques.

Les apports d'engrais ont pour objectif de maintenir un stock de phosphate dans cette forme assimilable, suffisant pour les besoins de la culture. Dans les sols à fort pouvoir fixateur du phosphore, une partie importante de l'engrais devient rapidement inutilisable pour les plantes.

Deux techniques de fertilisation sont alors possibles. On peut apporter une fumure de correction, par exemple une forte dose de phosphate naturel peu soluble en sol acide pour saturer le pouvoir fixateur du sol, si bien que les apports ultérieurs de phosphate seront bien utilisés. Ou bien localiser des doses modestes de phosphate soluble, dans une petite zone du sol où croissent les racines : la dose dans la zone d'apport est très forte, si bien qu'une partie importante du phosphate apporté reste utilisable par les plantes, le temps de la culture.

La carence en phosphore est fréquente, en particulier dans les systèmes de culture en cours d'intensification. L'effet du phosphore sur les rendements des plantes annuelles est très important si les autres facteurs clés de la production⁴ sont favorables. En général, en Afrique de l'Ouest, dans les sols sablo-argileux à faible pouvoir fixateur, la carence est corrigée en quelques années par des apports réguliers d'engrais à des doses modestes.

Différentes méthodes de laboratoire permettent d'apprécier le phosphore assimilable. Dans les sols acides, la méthode Bray et la méthode Olsen sont les plus employées. D'autres méthodes sont adaptées aux sols basiques. Un résultat d'analyse de phosphore assimilable ne peut être interprété que si l'on indique la méthode employée.

● Le potassium

Les sels de potassium sont très solubles. Mais les ions K^+ sont adsorbés sur le complexe d'échange du sol, d'où ils peuvent facilement s'échanger pour maintenir à peu près constante la concentration de la solution du sol, à partir de laquelle les plantes se nourrissent.

Il existe d'autres formes de potassium qui sont en équilibre sur le long terme avec le potassium échangeable. Aussi, quand on épuise le sol par une culture sans engrais potassique, le sol peut fournir des quantités importantes avant que la carence n'apparaisse.

L'analyse du potassium échangeable est utilisée pour apprécier la richesse du sol. Pour des cultures peu intensives, dans les sols sableux, il faut au moins 0,1 centiéquivalents/kg de K échangeable. Dans les sols ayant une capacité d'échange cationique plus élevée, il faut que le potassium échangeable représente au moins 2 % de la somme des bases échangeables. En outre, certaines cultures sont sensibles à un bon équilibre entre K et Mg. Les cultures très intensives sont beaucoup plus exigeantes en potassium. Par exemple, le riz irrigué peut fournir plusieurs années des rendements satisfaisants de 3 ou 4 t/ha sans apport d'engrais potassique en particulier si les pailles sont recyclées : les réserves du sol et les apports par l'eau d'irrigation suffisent pour l'alimenter. Mais pour que le riz fournisse de hauts rendements, plus de 6 t/ha, il a très généralement besoin d'engrais potassique.

⁴ Calendrier cultural, densité de plantation, lutte contre les adventices, etc.

● Le calcium et le magnésium : acidité et chaulage

Le calcium et le magnésium, cations les plus abondants sur le complexe adsorbant, ont un double rôle d'aliment des plantes d'une part, et de maintien d'un pH et d'une structure favorables d'autre part.

Les carences en magnésium ne sont pas rares. Elles se traduisent par des décolorations des feuilles, car le magnésium est un constituant de la chlorophylle. On utilise habituellement des engrais contenant un peu de magnésium sur les cultures exigeantes : cultures fruitières, etc.

Les carences en calcium sont rarement détectées, car les teneurs faibles en Ca échangeable sont associées à des teneurs élevées en aluminium échangeable et beaucoup de plantes sont plus sensibles à la toxicité aluminique qu'à la carence en calcium. Cependant, certaines plantes tolérantes à la toxicité aluminique, peuvent répondre favorablement à une amélioration de leur alimentation en calcium. La carence en calcium est bien plus facile à corriger que la toxicité aluminique.

Dans les sols très acides, les ions aluminium et parfois manganèse deviennent trop solubles et toxiques pour les plantes. L'acidité est corrigée en apportant de fortes doses d'amendements calcaires ou calco-magnésiens. Cette correction est difficile dans beaucoup de sols tropicaux qui ont des argiles à charges variables : l'apport d'amendement augmente la CEC, ce qui augmente d'autant les besoins en chaux. Il ne faut pas chercher à obtenir un pH proche de la neutralité, mais plutôt un pH un peu moins acide, juste suffisant pour que la culture la plus sensible à l'acidité de la rotation puisse pousser normalement. En général, un pH d'environ 5,5 convient bien.

Il est souvent plus indiqué de choisir des espèces et des variétés qui tolèrent l'acidité, plutôt que de vouloir à grands frais corriger cette acidité. En effet, beaucoup de cultures des régions tropicales humides sont bien adaptées à l'acidité (riz pluvial, igname, caféier) et certaines sont particulièrement tolérantes : hévéa, ananas, cocotier, palmier, manioc. La sélection des variétés pour leur tolérance à l'acidité est possible.

● Le sodium et les sols salés

Le sodium est un cation voisin du potassium, dont l'absorption par les plantes peut entraîner des désordres physiologiques. Sa présence excessive dans les sols provoque une dispersion des argiles et le colmatage de la porosité. Certains sols contiennent naturellement du sodium et des excès de sels. Dans beaucoup de périmètres irrigués où le drainage est déficient, les sels de sodium ont tendance à s'accumuler, éventuellement jusqu'à stériliser le sol.

Pour l'amélioration des sols salés, il faut distinguer deux cas :

- > *l'excès de sel, sans que le complexe adsorbant contienne beaucoup de sodium* : il suffit alors de lixivier le sel hors de la zone atteinte par les racines. Quand on a de l'eau douce en abondance, et surtout si le sol est sableux, cela est relativement facile.
- > *le complexe adsorbant contient du sodium* : lorsque les teneurs en sodium dépassent 10% de la capacité d'échange les argiles se dispersent, la structure s'effondre, la perméabilité devient nulle et le sol se met en boue dès la première pluie. Il faut alors appliquer des amendements à base de sulfate de calcium (gypse) de manière à remplacer les ions Na^+ par Ca^{++} . On peut alors lixivier le sel hors de la zone des racines par un système de drainage.

● Les autres éléments

Le soufre est un élément qui ressemble beaucoup à l'azote. Les teneurs des plantes en soufre sont environ 1/15^{ème} à 1/10^{ème} de celles en azote. La matière organique est la réserve de soufre dans le sol. La carence en soufre se manifeste par une coloration jaune de toute la plante, y compris les jeunes feuilles. Elle est assez fréquente et on la combat efficacement en apportant des engrais qui contiennent un peu de soufre.

Le fer et le manganèse sont très abondants dans les sols mais leur solubilité est très variable. En sol basique, ils sont insuffisamment solubles et les plantes peuvent souffrir de carence. En absence de fer, la chlorophylle ne peut être synthétisée et les plantes souffrent de «chlorose ferrique». Pour corriger ces carences, il faut apporter les éléments de telle façon qu'ils soient absorbés par la plante, mais ne soient pas insolubilisés au contact du sol. On peut utiliser divers sels en application foliaire, ou des chélates, soit en application foliaire, soit dans le sol.

Inversement, en milieu acide et réducteur ces éléments sont trop solubles et ils peuvent devenir toxiques pour les cultures. C'est le cas typique du *bronzing* du riz dû à la toxicité du fer ferreux.

L'aluminium est très toxique pour les plantes à pH acide car il devient trop soluble. Cependant certaines plantes sont très tolérantes à des pH bas et à des teneurs élevées en aluminium échangeable. Le théier préfère des pH très acides et il accumule de grandes quantités d'aluminium dans ses feuilles.

La silice n'est pas un élément indispensable pour la croissance des plantes. Cependant certaines plantes comme le riz et la canne à sucre en absorbent des quantités importantes et s'ils en manquent, leur résistance aux maladies et aux insectes faiblit. Les cendres de balle de riz apportent beaucoup de silice.

Les oligo-éléments

On peut noter :

- la nécessité du chlore, en quantité importante, au palmier à huile et au cocotier ;
- la fréquence de la carence en zinc dans de nombreuses régions tropicales ;
- la carence en cuivre dans les sols riches en matière organique ;
- la carence en bore sur certaines plantes sensibles : cotonnier ou palmier à huile ;
- la carence en molybdène dans les sols acides, notamment pour les légumineuses.

Les carences en oligo-éléments sont fréquentes dans les sols basiques (sauf le molybdène).

● Dans la végétation naturelle et les jachères

Sous forêt, tous les éléments minéraux disponibles dans la solution du sol sont immédiatement absorbés par la végétation. Au cours du temps, les arbres et arbustes constituent dans leurs parties aériennes et leurs parties souterraines d'importantes réserves minérales et organiques. L'alimentation des plantes se fait par recyclage des éléments, dès qu'ils se minéralisent à partir des résidus végétaux. Il y a peu de pertes par lessivage parce qu'il y a peu d'éléments disponibles dans le sol.

Lors des abattis brûlés, une part importante de la réserve minérale contenue dans les plantes est libérée par le feu. Elle permet la culture, même sur des sols pauvres.

Mais l'excès de minéraux disponibles peut être perdu par le drainage, par l'érosion et le ruissellement, et surtout par le passage des éléments assimilables sous une forme non assimilable.

Sous jachère, il y a accumulation des éléments minéraux dans la matière végétale. Les éléments entraînés en profondeur sous culture sont remontés par les racines profondes. La jachère filtre l'eau qui ruisselle et retient les sédiments provenant des champs voisins. Et surtout, la végétation pérenne mobilise lentement les minéraux bloqués sous des formes peu assimilables : comme tous les éléments assimilables sont absorbés par la végétation, les échanges avec les formes non assimilables se font uniquement dans le sens de la libération des éléments. Ces échanges sont lents, mais ils permettent de puiser dans un stock très important d'éléments non assimilables. La jachère accumule l'azote provenant de la fixation biologique.

La plupart des sols ont des réserves de minéraux incomplètement altérés en profondeur, qui libèrent des éléments minéraux dans des zones accessibles aux racines des arbres. Cela permet d'enrichir lentement le sol sous jachère et notamment de reconstituer les réserves de terres fortement dégradées par des usages abusifs. Certains sols très altérés n'ont pas de réserves accessibles en profondeur⁵ : ils sont alors très fragiles et ne se reconstituent pas quand ils ont été dégradés.

Tableau 1. Exemple de contenu minéral des végétaux. Ordre de grandeur des teneurs par rapport à la matière sèche (d'après Bertrand et Gigou, 2000)

Élément	Teneur	
Carbone (C)	40 à 45 %	Constituants principaux
Oxygène (O)	40 à 45 %	
Hydrogène (H)	6 à 7 %	
Azote (N)	1 à 3 %	Éléments majeurs
Potassium (K)	1 à 4 %	
Phosphore (P)	0,1 à 0,4 %	
Calcium (Ca)	0,1 à 0,5 %	Éléments secondaires
Magnésium (Mg)	0,1 à 0,4 %	
Soufre (S)	0,1 à 0,4 %	
Fer (Fe)	50 à 500 ppm	Oligo-éléments
Manganèse (Mn)	20 à 500 ppm	
Zinc (Zn)	20 à 200 ppm	
Bore (B)	Monocotylédone: 5-20 ppm Dicotylédone: 20-60 ppm	
Cuivre (Cu)	5 à 20 ppm	
Molybdène (Mo)	0,1 à 1 ppm	
Chlore (Cl)	20 à 500 ppm et jusqu'à 10 %	
Sodium (Na)	très variable	Éléments utiles pour certaines cultures et animaux
Sélénium (Se)	0,1 à 1 ppm	
Cobalt (Co)	0,02 à 0,5 ppm	
Aluminium (Al)	200 à 300 ppm	
	Théiers: 2000 à 5000 ppm	
Silice (SiO₂)	0 à 15 %	

⁵ Podzols géants, etc.

LES FORMES ET RÔLES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

● *L'humus, potion magique ?*

L'attitude des agronomes face à la matière organique (MO) du sol est souvent paradoxale. Ainsi, ils souhaitent en même temps avoir des teneurs élevées en matière organique des sols et que cette matière organique se minéralise rapidement, deux objectifs qui sont évidemment contradictoires. Cela reflète bien les nombreuses fonctions des matières organiques dans le sol, certaines étant liées à leur masse⁶, d'autres à leur minéralisation⁷ et d'autres à leur transformation⁸.

Une opinion largement répandue est que les sols tropicaux sont pauvres en MO car les températures élevées de cette zone climatique brûlent littéralement les débris végétaux tombés sur le sol. En réalité, c'est l'équilibre entre les apports et la minéralisation qui détermine les teneurs en MO. Ainsi, la minéralisation serait quatre fois plus forte en régions tropicales, mais les apports de MO fraîche seraient 4 à 5 fois plus élevés dans les forêts tropicales que dans les forêts tempérées. Au total, pour des sols de composition minéralogique similaire, les teneurs en MO sont quasiment identiques en pays tempérés et tropicaux.

Quand on défriche, les apports de résidus organiques sont réduits et les teneurs en matière organique diminuent plus vite en pays tropicaux, car la vitesse de minéralisation, fonction de la température, est plus rapide. Ce peut être un avantage : fourniture de beaucoup d'éléments minéraux aux cultures, ou un inconvénient : appauvrissement en matière organique du sol.

● *Fractionnement, modèles d'évolution*

La matière organique du sol est un ensemble très complexe, en évolution constante. On a cherché des méthodes de fractionnement physique ou chimique : dissolution dans les acides et les bases, hydrolyse ménagée, etc. Les résultats se sont révélés décevants car les fractions ainsi isolées n'ont pas de relations claires avec les propriétés des sols. La méthode la plus utilisée actuellement est le fractionnement granulométrique, qui sépare les fractions grossières, moins évoluées, moins liées à la matière minérale des fractions fines liées aux argiles ou aux limons.

6 CEC, structure du sol, etc.

7 Fourniture d'éléments minéraux.

8 Faune du sol, micro-organismes.

Le modèle de Hénin-Dupuis

Pour décrire l'équilibre dynamique de la matière organique et son renouvellement dans le sol, l'utilisation de modèles mathématiques semble tout indiqué. Le modèle de Hénin-Dupuis a été proposé dès 1945 et il est encore souvent utilisé. Il a l'avantage d'être très simple puisqu'il considère seulement deux fractions de matières organiques :

- l'humus stable (H) qui se minéralise lentement ;
- la matière organique fraîche (A) qui se décompose en laissant un peu d'humus stable.

Chaque année, la minéralisation est : $H_m = k_2 \times H$

et la formation d'humus, l'humification : $H_f = k_1 \times A$

où k_1 le coefficient d'humification, k_2 le coefficient de minéralisation.

À l'équilibre, dans des sols non affectés par l'érosion, il se forme autant d'humus qu'il s'en détruit : $k_1 \times A = k_2 \times H$; d'où $A = H \times k_2 / k_1$.

En connaissant ces coefficients et la quantité A de matière organique apportée chaque année on peut prévoir l'évolution du stock de matières organiques du sol.

Des modèles plus complexes que celui de Hénin-Dupuis, tenant compte de plusieurs compartiments⁹, permettent de simuler plus finement la réalité des essais de longue durée. Mais ils ont l'inconvénient d'introduire de nombreux paramètres qu'il n'est pas toujours facile d'estimer.

● Les matières organiques et les propriétés du sol

La MO des sols est la seule réserve en azote et en soufre. Dans les sols tropicaux de défriche de forêt, la fourniture d'azote par minéralisation de la MO est très abondante pendant plusieurs années. La MO fournit au moins 50 % du phosphore assimilable et beaucoup plus dans les sols à fort pouvoir fixateur. Elle constitue aussi une petite réserve pour les autres éléments nutritifs, dont les oligo-éléments. Les quantités minéralisées peuvent être supérieures aux besoins des cultures.

La capacité d'échange cationique (CEC) de la matière organique est très importante : entre 100 et 300 milliéquivalents/100 g de MO, et elle varie en fonction du pH. Dans les sols tropicaux à argiles à faible activité, la MO représente une très grande partie de la capacité de stockage des éléments. La MO permet donc à la fois l'alimentation des plantes en libérant les éléments minéraux adsorbés et le stockage de ces éléments qui, sans cela, seraient lixiviés en raison de la très faible capacité d'adsorption des colloïdes minéraux.

En sols acides, la MO atténue la toxicité aluminique par complexation de l'aluminium libre. Elle diminue aussi l'immobilisation du phosphore dans les sols à fort pouvoir fixateur car elle entre en concurrence avec les ions phosphates pour les sites électropositifs.

En sols basiques, la matière organique tend à augmenter les charges négatives et donc à rapprocher le pH de la neutralité.

L'état physique du sol est amélioré par toutes formes de matière organique. Elle alimente la faune du sol qui, en creusant des galeries, entretient la macro et la mésoporosité des sols.

⁹ La biomasse microbienne, la matière organique inerte qui ne se minéralise que très lentement, etc.

Cette action est importante pour les sols tropicaux qui n'ont pas d'argile gonflante. Elle participe ainsi au maintien de sols aérés et perméables. La présence de matière organique favorise la stabilité structurale, les résidus en surface maintiennent une bonne porosité et favorisent l'infiltration de l'eau. Les sols riches en matière organique sont souvent bien structurés et peu sensibles à l'érosion.

La matière organique favorise la rétention de l'eau, par son pouvoir d'absorption de l'eau qui est très élevé, mais plus encore par le maintien d'une bonne structure et par son action favorable sur l'infiltration de l'eau. La matière organique favorise un bon enracinement des cultures, ce qui contribue encore plus à une bonne alimentation des plantes en eau et en éléments minéraux.

Enfin, un peu de matière organique est nécessaire pour alimenter les micro-organismes et maintenir toutes les espèces, par exemple les rhizobium, quand il n'y a pas de cultures de légumineuses.

Globalement, la matière organique contribue à la stabilité des conditions physiques, chimiques et biologiques du sol. Les cultures sur des sols bien pourvus en matières organiques résistent mieux aux variations climatiques aléatoires et donnent des rendements plus stables.

● **La matière organique sous culture**

Sous culture, les apports de résidus végétaux frais sont moindres que sous forêt naturelle. En outre, s'il s'agit de cultures annuelles, le sol est exposé directement au soleil et aux intempéries une partie de l'année. Ce phénomène augmente sa température et par conséquent la vitesse de minéralisation de la matière organique, mais aussi l'incidence de l'érosion sélective qui affecte les éléments fins riches en humus. Aussi, les teneurs en MO du sol décroissent : c'est une évolution inévitable. Elle est rapide parce que les températures sont élevées et les pluies agressives. Sous des cultures annuelles, les teneurs en matière organique peuvent diminuer de 40 à 50 % en moins de 20 ans. Des valeurs plus fortes ont même été observées dans les régions soudano-sahéliennes. Les teneurs évoluent alors vers un nouvel équilibre avec peu de matière organique. Cette évolution, inévitable, dépend beaucoup du système de culture : la diminution est moindre sous les cultures qui couvrent le sol en permanence et laissent beaucoup de résidus (cane à sucre, cultures arbustives), ainsi que sous les cultures associées qui couvrent le sol en permanence, les parcs arborés des paysans, les plantes de couverture, etc. Les cultures fourragères ont d'ailleurs tendance à remonter le niveau de matière organique.

Certaines pratiques favorisent la minéralisation : le labour, la correction des défauts du sol tels que le drainage ou le chaulage. Une forte minéralisation est favorable pour l'alimentation des cultures, mais elle tend à diminuer les teneurs en matière organique du sol.

La diminution des teneurs en matière organique résulte aussi de l'approfondissement du labour, qui dilue la matière organique dans un plus grand volume de terre.

Les teneurs en matière organique sont toujours plus faibles dans les sols sableux. En effet, les argiles protègent la matière organique de la minéralisation. Ce phénomène est vérifié sous végétation naturelle et sous culture.

● Les effets contraires des engrais

Les engrais ont deux effets contraires sur l'évolution de la matière organique du sol. D'une part, ils peuvent améliorer l'activité des micro-organismes, donc accélérer la minéralisation : c'est ce qui se passe habituellement avec les apports d'azote. D'autre part, ils augmentent la production de matière végétale, donc les racines qui restent dans le sol et les résidus de culture qui peuvent être restitués directement sous forme de mulch, ou par l'enfouissement, ou par l'intermédiaire de la vaine pâture ou encore servir à faire du fumier.

L'enfouissement de paille permet de nourrir la faune du sol, en particulier les termites, ce qui est favorable pour avoir un sol bien aéré, avec de nombreuses galeries. Mais il n'a pas ou presque pas d'effet favorable sur les teneurs en matière organique du sol. L'enfouissement d'engrais vert n'a généralement pas d'effet durable sur les teneurs en matière organique.

Les apports de fumier ont un effet favorable sur la teneur en matière organique du sol. Mais avec les doses susceptibles d'être utilisées en grande culture, on ne peut maintenir que des teneurs modestes. Pour augmenter les teneurs en matière organique, il faut modifier plus complètement le système de culture : introduction d'une sole fourragère ou d'une jachère plus ou moins pâturée, cultures qui couvrent le sol en permanence, plantes de couverture, développement de systèmes agroforestiers.

● Une teneur suffisante en matière organique

Quand la teneur en matière organique diminue, il faut adapter les techniques culturales : par exemple apporter des engrais azotés quand la quantité d'azote minéralisée devient insuffisante, ou adapter les techniques de travail du sol et de semis quand la structure devient moins bonne. Bien sûr, toutes ces adaptations ont un coût.

Teneur minimale en matière organique

Plusieurs auteurs se sont demandé s'il y avait une teneur minimum au-dessous de laquelle la culture devient impossible ou cesse d'être rentable. Quand la structure devient vraiment trop instable, les rendements s'effondrent. Piéri a proposé l'indice : $St = (MO\% \times 100) / (A + L)\%$. La structure serait dégradée pour $St < 5$ et bonne pour $St > 9$. Taonda a bien vérifié au Burkina Faso que les rendements du sorgho deviennent très faibles après 5 ans de culture, quand cet indice St devient inférieur à 5. Mais il a suffi qu'il fasse des aménagements simples (cordons pierreux tous les 20 m), favorisant l'infiltration de l'eau, pour que les rendements redeviennent normaux.

Une teneur suffisante en matière organique est donc un élément favorable, qui permet de profiter de la fourniture d'éléments minéraux gratuits et de conditions de sol plus favorables, et permet finalement une meilleure efficacité des intrants. Mais quand les teneurs diminuent, avec un peu plus d'engrais et en ajustant les techniques de culture, on peut habituellement continuer à cultiver sans difficultés majeures et avec des rendements satisfaisants.

● Les fumiers et les composts

● Le fumier

Le fumier est le produit de la fermentation d'un mélange de pailles plus ou moins piétinées et de déjections animales, qui permet un recyclage efficace des éléments minéraux plus concentrés et plus assimilables que dans les résidus de départ.

Dans les pays tropicaux, il existe des fumiers de toutes les qualités possibles depuis un mélange de terre avec un peu de matière organique jusqu'à de très bons fumiers. Le fumier le plus courant en Afrique, appelé *poudrette de parc*, est récolté dans les parcs où les animaux sont gardés la nuit, sans apport de paille. C'est un mélange de terre et de fèces non fermentés. Il contient moins de 50 % de matière organique et sa composition est variable suivant la proportion de terre. Il contient souvent beaucoup de graines d'adventices viables. Les quantités produites dépendent du temps de séjour des animaux dans le parc. Un bovin de 250 kg (unité de bétail tropical – UBT) consomme chaque année environ 2,5 tonnes de matière sèche de fourrage dont un peu moins de la moitié est rejeté sous forme de bouses, parmi lesquelles 200 à 300 kg arrivent dans le parc de nuit. Mélangées à la terre, la production est ainsi 500 à 600kg de poudrette par UBT et par an.

Méthodes d'accumulation du fumier

Différentes méthodes ont été proposées pour réaliser des parcs améliorés ou des étables permettant de produire davantage de fumier, grâce à l'apport d'une litière constituée de pailles de céréales, de tiges de cotonniers ou d'autres résidus. On peut utiliser des méthodes d'accumulation du fumier sous les pieds des animaux ou bien retirer régulièrement le fumier des étables, parcs et autres lieux où les animaux séjournent et le jeter dans des fosses fumières. Dans les deux cas, le fumier fermente grâce à l'humidité des urines et de l'eau de pluie. Il est souvent nécessaire de laisser passer une saison des pluies pour que le fumier soit bien décomposé. Certains proposent d'arroser pour accélérer la fermentation, mais ce n'est guère réaliste dans les situations où les moyens d'exhaure sont à peine suffisants pour satisfaire les besoins des hommes et l'abreuvement des animaux. Il faut aussi éviter de placer le fumier près des puits, pour limiter les risques de pollution de l'eau de la nappe par les infiltrations.

Tableau 2. Richesse minérale des fumiers (d'après Pieri, 1989)

	Mali <i>Moyenne</i>	<i>Mini-maxi</i>	Sénégal <i>Moyenne</i>	<i>Mini-maxi</i>
N	1,18	0,00-2,05	1,41	0,49-2,65
P₂O₅	0,74	0,31-1,45	0,69	0,29-1,55
K₂O	1,83	0,31-5,02	1,47	0,24-3,52
CaO	1,24	0,28-2,73	1,60	0,51-2,89
MgO	0,69	0,18-1,33	0,81	0,20-1,33
S	0,15	0,05-0,23		

Le fumier a un coût important : le transport des pailles vers l'étable, puis du fumier vers le champ. Il ne peut être produit en quantité importante que si l'on a en même temps des animaux, des pailles, des moyens de transport et de la main-d'œuvre. C'est pourquoi, malgré toutes les qualités du fumier, son usage est loin d'être général dans les pays tropicaux.

Les élevages intensifs de volailles, de porcs et les unités d'embouche de bovins fournissent des résidus qui peuvent poser des problèmes de pollution dans les zones péri-urbaines. Leur recyclage, à doses raisonnables, dans des terres agricoles est une bonne solution.

● Le compost

La fabrication de compost, à partir de tiges et avec très peu de déjections animales, a souvent été proposée pour obtenir une sorte de fumier artificiel. Le compost a un effet favorable sur la fertilité du sol, mais il est coûteux en transport, en manipulations, si bien qu'il n'est couramment utilisé que dans des cas spéciaux comme les pépinières, le maraîchage, etc. On peut aussi composter les tiges directement au champ, sous la pluie naturelle, pour réduire les transports et les manipulations.

Les ordures ménagères sont formées des résidus de la préparation des repas, des cendres, des balayures, des déjections des volailles et autres animaux qui vivent dans la cour et parfois de débris organiques provenant des toits de chaumes ou des clôtures. Elles restent souvent à proximité des habitations, dans les zones qui servent aux cultures de cases. Leur compostage et leur épandage dans les champs améliorent l'hygiène. Parfois elles sont riches en cendres et forment un véritable amendement basique, très efficace dans les sols acides.

LES ENGRAIS ET LES AMENDEMENTS

● *Caractères généraux des engrais*

Les engrais sont des produits riches en éléments minéraux nécessaires aux plantes. Ils peuvent être naturels¹⁰ ; transformés par l'industrie chimique¹¹ ; synthétisés par l'industrie chimique¹² ou sous-produits industriels¹³. Il existe des engrais organo-minéraux mais, en général, il est plus efficace de faire une fumure organo-minérale avec du fumier produit sur place et des engrais minéraux achetés.

Les engrais doivent apporter les éléments nécessaires aux plantes, qui sont variables suivant la richesse du sol et la nature de la culture. Ce sont le plus souvent NPKS, parfois Ca et Mg et parfois des oligo-éléments.

10 Roches simplement broyées : phosphate naturel, sulfate double de potassium et de magnésium, etc.

11 Phosphates solubles, etc.

12 Les engrais azotés.

13 Sulfate d'ammoniaque, etc.

Les unités

Elles sont traditionnelles. Elles correspondaient à l'usage des chimistes au début du xx^e siècle, quand le commerce des engrais s'est développé :

N : pour l'azote. On utilise directement les kilos de l'élément azote, exprimé en kg N/ha ou en kg N par 100 kg d'engrais ;

P₂O₅ : pour le phosphore. P₂O₅ est l'anhydride phosphorique qui n'existe pas dans la nature, ni dans les sols ni dans les plantes ;

K₂O, appelé « potasse » pour le potassium. K₂O est l'oxyde de potassium, qui réagit avec l'eau pour donner la potasse KOH. L'usage est identique pour CaO et MgO.

Les Anglais utilisent habituellement le poids de l'élément lui-même et non les unités traditionnelles. Pour le soufre et les oligo-éléments, l'usage hésite entre l'élément minéral lui-même ou les oxydes.

Tableau 3 : Unités fertilisantes

Élément	N	P	K	Ca	Mg
Unité	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Kg d'élément dans 1 unité	1	0,48	0,83	0,71	0,60
Unité pour 1 kg d'élément	1	2,28	1,20	1,40	1,67

● Engrais, éléments secondaires et oligo-éléments

Les engrais azotés proviennent de la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air. Les engrais phosphatés proviennent principalement de phosphates naturels extraits en carrières et modifiés pour les rendre solubles. Les engrais potassiques proviennent de minerais, naturellement solubles, traités pour éliminer les impuretés gênantes.

● Les engrais azotés

Les engrais azotés proviennent de la synthèse de l'ammoniac, à partir de l'azote de l'air et d'hydrogène. Cette réaction chimique consomme beaucoup d'énergie. C'est pourquoi les usines de synthèse de l'ammoniac sont situées dans des régions où l'énergie est disponible à un prix favorable. Il est parfois possible d'utiliser les gaz provenant des gisements de pétrole, au lieu de les brûler dans des torchères. Le prix de l'unité d'azote sous forme d'engrais varie comme le prix de l'énergie.

L'ammoniac gazeux peut être utilisé comme engrais, mais il doit être conservé dans des cuves réfrigérées et sous pression et être injecté directement dans le sol. Pour fabriquer des engrais plus faciles à utiliser, on combine l'ammoniaque sous forme de sel ou d'urée ou on l'oxyde en nitrate en le brûlant avec l'oxygène de l'air.

On distingue plusieurs types d'engrais azotés.

Les engrais ammoniacaux où tout l'azote est sous forme ammoniacale

- > *le sulfate d'ammoniaque*, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, est souvent un sous-produit de l'industrie. Il a l'avantage d'apporter du soufre, mais le défaut d'être peu concentré. Il est très acidifiant, ce qui peut être un défaut, en sol acide, ou un avantage en sol basique ;
- > *l'urée* : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ s'hydrolyse rapidement en donnant NH_3 . C'est l'engrais azoté le plus utilisé en pays tropicaux. Il contient une impureté, le biuret, qui brûle les feuilles : les produits à teneur faible en biuret ($< 1,2\%$) peuvent être apportés au contact des feuilles ou en pulvérisation foliaire ;
- > *les phosphates d'ammoniaque* sont obtenus par réaction avec l'acide phosphorique. Le phosphate diammonique $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ est basique. Le phosphate monoammonique $((\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4)$ donne une solution neutre. Il est préférable en sol basique ou pour les applications foliaires.

Les engrais ammoniaco-nitriques

Ils contiennent la moitié de l'azote sous forme ammoniacale et l'autre moitié sous forme nitrique. Ils sont fabriqués à partir du nitrate d'ammoniaque en ajoutant des produits inertes pour éviter qu'il explose. On distingue :

- > *les ammonitrates à haut dosage*, dans lesquels peu d'éléments inertes sont ajoutés : ils doivent être transportés en sacs et stockés avec précautions. Très hygroscopiques, ils ne sont pas faciles à stocker en atmosphère humide et à épandre à la main. Ils ne sont guère utilisés en pays tropicaux ;
- > *les ammonitrates à moyen dosage*, qui ne contiennent que 75 % de nitrate d'ammoniaque, sont sans risque d'explosion. Le complément peut être du calcaire (calcium-ammonium-nitrate = CAN) ou de la dolomie qui évitent l'acidification.

Les engrais nitriques

- > *le nitrate de soude du Chili*, seul engrais azoté d'origine naturelle ;
- > *le nitrate de calcium*, qui est un sous-produit de la fabrication de nitrophosphate ;
- > *le nitrate de potassium*.

Ces engrais nitriques sont peu concentrés en azote mais ils apportent des bases. Ils sont très hygroscopiques, difficiles à stocker et à utiliser en atmosphère humide. Ils sont utilisés en région tropicales uniquement pour des usages particuliers : tomates, cultures maraîchères. Ils peuvent être utilisés en applications foliaires.

- > *les nitrophosphates* : voir ci-dessous.

● Les engrais phosphatés

Le phosphate naturel provient principalement de roches sédimentaires largement réparties dans le monde (Maroc, Sénégal, Togo, etc.) et parfois de roches éruptives qui ont l'avantage de contenir peu de cadmium (Russie, Afrique du Sud). D'autres sources de phosphate peuvent être utilisées : la poudre d'os calciné, le guano, qui résulte de l'évolution des déjections d'oiseaux de mer sur des îlots.

Les engrais sont fabriqués en traitant le phosphate naturel pour qu'il devienne plus soluble. On distingue les engrais phosphatés suivant leur solubilité :

Les engrais phosphatés insolubles

Les *phosphates naturels* moulus sont utilisés dans les sols acides où ils se solubilisent lentement. Ils sont parfois vendus sous le nom d'*hyperphosphate*. Leur composition se rapproche d'un phosphate tricalcique. Leur solubilisation dans le sol est très variable suivant leur composition et donc leur origine. Ils ont l'avantage d'apporter beaucoup de calcium ;

Les engrais phosphatés hyposolubles

Ils sont insolubles dans l'eau mais solubles dans les acides organiques. Le *phospal* est du phosphate aluminocalcique de Thiès calciné et broyé. La cuisson permet de désorganiser la maille du minéral et de le rendre plus soluble. Différents *phosphates tricalciques* fondus sont proposés pour la fertilisation des terres ou pour l'alimentation animale¹⁴.

Les engrais phosphatés solubles

Les plus employés sont :

- > le *superphosphate simple* (SSP), obtenu par l'attaque du phosphate naturel par l'acide sulfurique. Il est peu concentré en phosphore mais il contient du calcium et du soufre. Il est donc particulièrement bien adapté aux cultures qui ont besoin de Ca, P et S, comme l'arachide ;
- > le *super triple* (TSP), obtenu en attaquant le phosphate naturel par l'acide phosphorique. Il est plus concentré en phosphore, moins riche en calcium et ne contient presque pas de soufre ;
- > les *phosphates d'ammoniaque*, produits par réaction de l'ammoniaque sur l'acide phosphorique, sont des engrais très concentrés. Le phosphate diammonique est souvent utilisé pour la fabrication d'engrais composés ;
- > le *nitro-phosphate*, produit par l'attaque du phosphate naturel par l'acide nitrique. Le produit obtenu n'est jamais totalement soluble. Le pourcentage de phosphate soluble est une caractéristique importante de ce type d'engrais. Il peut atteindre 60 à 80 %.
- > les *phosphates partiellement acidulés*, variantes des superphosphates dans lesquels la quantité d'acide (sulfurique, phosphorique ou mélange) apportée est insuffisante pour décomposer tout le phosphate tricalcique, par exemple 25 ou 50 % de la quantité d'acide nécessaire pour faire du superphosphate. Le produit obtenu contient du phosphate soluble et du phosphate tricalcique insoluble. Ce type d'engrais permet d'utiliser des minerais qui ne conviennent pas pour la fabrication de TSP.
- > les *phosphates condensés ou polyphosphates d'ammoniaque*, très concentrés, mais peu utilisés : engrais liquides, etc.

14 Le fluor est éliminé par la cuisson.

● Les engrais potassiques

Les gisements de potasse sont constitués de roches provenant de l'évaporation de l'eau de mer au cours des temps géologiques. Le plus gros gisement actuellement en exploitation se situe au Canada. Le minerai habituel est la sylvinite, un mélange de KCl et NaCl, dont on extrait le KCl et on rejette en général le NaCl. On exploite aussi des gisements de sulfate double de potassium et de magnésium, qui sont des sources de potassium, de soufre et de magnésium directement utilisables pour l'agriculture.

Tous les engrais potassiques sont entièrement solubles dans l'eau.

Les principaux engrais potassiques

- le chlorure de potassium, cristallisé ou granulé, blanc ou légèrement rosé. C'est l'engrais potassique le plus utilisé ;
- le sulfate de potassium, où l'ion SO_4^{2-} remplace Cl^- est utilisé sur les plantes qui craignent le chlore (tabac, pommes de terre, tomates, haricots, etc.) et quand on veut apporter du soufre.
- le nitrate de potassium, utilisé dans des cas particuliers : fleurs, apports foliaires, etc.
- les sulfates doubles K et Mg, provenant de différentes origines. Le patentkali, provenant d'Allemagne est classique. Le Sulpomag, langbéinite, extrait d'une carrière aux USA, est utilisé en Afrique.

Tableau 4. Teneurs en éléments fertilisants des engrais courants (%)

Nature	Formule	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	CaO	MgO
Ammoniac anhydre	NH ₃	82					
Sulfate d'ammoniaque	(NH ₄) ₂ SO ₄	21			23		
Urée	CO(NH ₂) ₂	46					
Ammonitrates à haut dosage	NH ₄ NO ₃	33,5					
Calcium ammonium nitrate (CAN)	id	26				12	
Nitrate de calcium	Ca(NO ₃) ₂	15,5				26	
Nitrate de potassium	K(NO ₃) ₂	13				44	
Phosphate naturel	apatite		28 à 38			35 à 50	
Phospal			34,5		11		
Super simple (SSP)	CaH ₄ (PO ₄) ₂		16 à 24		9 à 12	28	
Super triple (TSP)	CaH ₄ (PO ₄) ₂		45			20	
Phosphate monoammonique (MAP)	((NH ₄)H ₂ PO ₄)	11	54				
Phosphate diammonique (DAP)	((NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄)	16 à 18	46 à 48				
Chlorure de potassium	KCl			60 ou 61			
Sulfate de potassium	K ₂ SO ₄			50	18		
Sulfates doubles K et Mg							
Patentkali				28	18		8
SulpoMag				22	22		18
Kiésérite	MgSO ₄			22		27	
Calcaire (carbonate de chaux)	CaCO ₃					45 à 55	
Dolomie (variable : exemple)	Ca,MgCO ₃					36	16
Chaux agricoles vives	CaO					75 à 95	
Chaux agricoles éteintes	Ca(OH) ₂					50 à 72	
Soufre en fleur					100		

● **Éléments secondaires et oligo-éléments**

Le soufre

La principale source de soufre est le traitement des hydrocarbures. Par exemple, le gaz naturel contient du H_2S qui est transformé en S. En plus, certains produits naturels ou sous-produits industriels utilisés pour la fabrication des engrais apportent du sulfate : gypse, phospho-gypse, sulfate de potassium et de magnésium, sulfate d'ammoniac, etc.

Le soufre en fleur peut être utilisé directement dans le sol, où il est oxydé par des bactéries, réaction très acidifiante. En général, le soufre est un élément secondaire apporté avec d'autres engrais : sulfate d'ammoniac, superphosphate simple, sulfate de potassium ou de magnésium, gypse.

Les engrais très concentrés ont tendance à être pauvres en soufre, alors que certaines cultures (cotonnier, arachide) en ont besoin. Les engrais composés à base de sulfates, qui ne contiennent pas de chlorures, sont plus chers d'environ 20 %. Par contre les engrais NPKS qui contiennent des chlorures et un pourcentage déterminé de soufre ne sont pas plus chers, à concentration égale en NPK, que ceux sans soufre.

Le calcium

C'est un élément secondaire dans beaucoup d'engrais : phosphate naturel, le super simple, le nitrate de calcium, etc. Les engrais très concentrés en NPK en contiennent peu : il faut alors prévoir des apports spécifiques d'amendement calcique pour compenser les exportations et les pertes et pour éviter l'acidification.

Le magnésium

Il peut être apporté soit par des amendements calco-magnésiens¹⁵, soit par des engrais magnésiens. Les engrais composés destinés aux cultures exigeantes en Mg contiennent un pourcentage défini de magnésium, sous forme de sel soluble¹⁶. Des apports foliaires sont possibles sous forme de sels solubles dilués ou d'oxyde micronisé ou de chélate, par exemple sur des sols basiques.

Les oligo-éléments

Les apports peuvent être faits avec les engrais enfouis dans le sol ou par des pulvérisations foliaires, qui permettent de rectifier des situations de carence en cours de culture ou d'éviter le blocage des éléments dans le sol. Les éléments complexés (chélates) sont nécessaires dans des conditions où l'élément risque d'être insolubilisé (les sols basiques) mais ils sont coûteux.

Le bore

Plusieurs formes de bore sont commercialisées (boracine, borax, etc.), qui peuvent être complètement ou partiellement solubles. Le bore est habituellement ajouté dans les engrais épandus sur le sol. Des apports foliaires sont possibles mais ils doivent être répétés car le bore est peu mobile dans la plante.

¹⁵ Dolomie, etc.

¹⁶ Sulfate de magnésium, sulfate double de potassium et de magnésium, etc.

Le zinc

Il est apporté sous forme de sulfate ou d'autres sels, avec les engrais. Les apports foliaires de sel dilués ou de chélates sont possibles.

Le chlore

Il est nécessaire en grande quantité pour le palmier et le cocotier. Le chlorure de potassium en apporte beaucoup. En général, le chlore est surabondant dans les engrais par rapport aux besoins des plantes et il est gênant pour le tabac et les cultures maraîchères.

Le fer

Les apports de fer sont nécessaires sur des sols basiques, où il est insoluble. On utilise soit du sulfate de fer, pas très cher mais insoluble à pH basique, soit des chélates qui peuvent être utilisables en apports foliaires seulement (EDTA) ou bien aussi dans le sol (EDDHMA).

Le manganèse

Il est ajouté, sous forme de sulfate ou d'autres sels ou d'oxyde, aux engrais acides ou acidifiants : super simple, engrais ammoniacaux, etc. Pour les apports foliaires, on peut employer le sulfate ou des chélates.

La silice

La silice est habituellement apportée sous forme de silicate de calcium.

Le molybdène

Il est appliqué sous forme de molybdates de sodium ou d'ammonium, ou de trioxyde MoO_3 . L'épandage peut être fait au sol (avec l'engrais), par pulvérisations foliaires, ou mieux, par le traitement des semences. Des mélanges sont possibles avec le superphosphate pour diminuer la fixation du molybdate dans le sol, ou avec la chaux pour le traitement localisé des légumineuses.

Le cuivre

Il est appliqué sous forme de sulfates, oxydes ou chélates en apport au sol ou en pulvérisation foliaire

● **Engrais composés, complexes, bulk blending, engrais foliaire**

On distingue classiquement les engrais complexes, formés par une réaction chimique, des engrais de mélange. Dans la pratique, il n'y a pas de limite nette entre ces deux catégories et ni de différence d'efficacité puisqu'on apporte les mêmes éléments, sous des formes assimilables par les plantes.

Les techniques de mélange des engrais composés

Il existe deux techniques de mélange pour la fabrication des engrais composés. On peut faire un mélange des poudres qu'il est possible ensuite de granuler¹⁷ ou de compacter¹⁸. Ou bien mélanger des granulés de taille homogène et comparable, suivant la méthode du bulk blending : mélange en vrac. Cette dernière s'est beaucoup développée depuis 15 ou 20 ans car elle offre une grande souplesse pour produire des formules spécifiques pour des tonnages limités, à des prix compétitifs. Le risque lié à cette méthode est le tri des granulés pendant le transport : les plus petits et les plus denses tombent au fond du tas. C'est pourquoi la mise en sac doit alors être faite dès la fabrication, pour assurer ainsi un contenu homogène de tous les sacs. La ségrégation pendant les transports en sacs est limitée par l'épaisseur du sac et elle est sans importance pratique. Les éléments en faible quantité, par exemple 1 % de bore, peuvent être apportés soit par l'un des constituants granulés, par exemple de l'urée boratée, soit par imprégnation des granulés, par du liquide, des gaz ou des poudres adsorbées à la surface des granulés.

De nombreuses formules, adaptées aux différentes situations, peuvent ainsi être proposées (cf. tableau 5).

Tableau 5. Exemples de formules d'engrais proposés en Côte d'Ivoire

Culture	NPK	Soufre	Autres éléments
Ananas	11-00-27,5	Base sulfate	+ 6 MgO
Banane	12-04-28	7S	+ 6 MgO
Cacaoyer	00-23-19	6,5S	+5MgO+10CaO
Coton (centre)	15-16-15	6S	+1B ₂ O ₃
Coton (nord)	20-15-13	4S	+0,7B ₂ O ₃
Maïs	19-17-14	4S	+ 3 MgO+0,4Zn
Maraîchage	12-10-25	Base sulfate	+ 3 MgO
Cocotier	00-00-40	11S	+9MgO+22Cl
Palmier à huile	00-00-36	13,5S	+11MgO+18Cl
Tabac	07-21-23	Base sulfate	+2,5MgO+1CaO

Des produits sont adaptés aux apports en solution sur le feuillage, soit par pulvérisation, soit par dissolution dans l'eau d'irrigation par aspersion. Ils ne contiennent aucun résidu insoluble et ne présentent pas, aux concentrations normales d'application, de risque de brûler les feuilles.

17 Humidifier, puis sécher en remuant.

18 À forte pression entre des rouleaux.

● **Les amendements calcaïques ou calco-magnésiens**

Pour corriger le pH, de grandes quantités d'amendement sont nécessaires. Le transport est un problème crucial : il vaut souvent mieux un produit médiocre disponible à proximité qu'un produit importé ou transporté sur une longue distance qui reviendra cher. Toutes les roches calcaires peuvent convenir, mais leur action dépend de leur cristallisation, de leur nature et du degré de mouture. On distingue :

- > *les produits crus* : calcaire, dolomie, craie, marnes, sables coquilliers, calcaires phosphatés. Ils peuvent être bruts, broyés ou pulvérisés plus ou moins finement, ce qui augmente leur solubilité ; certains sont compactés ou granulés (pulvérisés puis agglomérés) ;
- > *les produits cuits* sont soit les précédents cuits au four, soit des résidus industriels : chaux agricoles vives ou éteintes, chaux magnésiennes, écumes de défécation de sucrerie, laitiers de hauts fourneaux (qui contiennent du silicate de Ca).

Le sulfate de calcium (gypse ou phosphogypse)

Il permet d'apporter du calcium facilement soluble sans modifier sensiblement le pH. En effet, CaSO_4 contient autant de cation Ca^{++} que d'anion SO_4^{-} . On l'utilise pour :

- la nutrition des plantes en calcium sans augmenter le pH (arachide) ;
- les apports de calcium en sol basique, pour l'amélioration des sols sodés ;
- l'amélioration des teneurs en calcium des horizons profonds de sols très acides. En effet, le CaSO_4 peut être entraîné en profondeur plus facilement que CaCO_3 . De plus, l'ion SO_4^{-} peut se lier aux ions Al^{+++} libres pour donner AlSO_4^{-} peu chargé, qui draine facilement.
- l'amélioration de la saturation en calcium du complexe adsorbant de sols à charges variables, en évitant d'augmenter la CEC. En effet, l'augmentation de la CEC a le gros inconvénient d'augmenter considérablement les besoins en chaux pour obtenir une saturation suffisante du complexe adsorbant.

● **L'utilisation de ressources locales**

Certains gisements de matières fertilisantes ne sont pas utilisables de façon rentable par la grande industrie mais pourraient être utilisés de façon artisanale pour la fertilisation des terres de la région, en profitant de l'avantage de la proximité pour les engrais dont le prix dépend beaucoup des frais de transport.

Les phosphates naturels

Il en existe beaucoup de petits gisements, notamment en Afrique de l'Ouest. Malheureusement, ils sont généralement impropres pour un usage direct en agriculture, après un simple broyage. Et le phosphate du Tilemsi, au Mali, qui convient bien pour cet usage, est localisé dans le Sahara, loin des zones cotonnières de consommation des engrais. On a cherché à valoriser les phosphates durs par une acidification partielle, mais il s'est révélé bien difficile de trouver des solutions moins coûteuses que l'importation du DAP. La fabrication de thermophosphate serait envisageable là où des sources d'énergie bon marché sont disponibles.

Les calcaires et dolomies, les marnes, les calcaires coquilliers

Des gisements existent dans de nombreuses régions, y compris dans des régions où les sols sont acides et seraient fortement améliorés par le chaulage. Pour ces produits, l'avantage de la proximité est considérable. Les moyens à mettre en œuvre sont relativement simples¹⁹ et souvent disponibles pour les travaux publics ou les cimenteries. Il ne fait pas de doute que là où une demande solvable existe, des entreprises artisanales peuvent prospérer.

Le gypse

Il est utilisé pour l'amélioration des sols alcalins et est bien moins fréquent que le calcaire.

Les résidus industriels

Nombre d'entre eux sont utilisables pour la fertilisation des terres. Les fines de phosphate du Togo conviendraient pour l'usage direct, dans les mêmes conditions qu'un phosphate naturel. Cependant l'opérateur minier n'a jamais cherché à les valoriser, peut-être pour éviter de se poser en concurrent de ses propres clients. Le phosphogypse, sous-produit gênant de la fabrication de l'acide phosphorique, convient bien pour l'amélioration des sols alcalins. Cependant, on hésite à l'utiliser à très forte dose en raison de sa forte teneur en cadmium²⁰.

Les mines de phosphates comportent des couches trop pauvres en phosphate tricalcique pour donner du phosphate marchand. Mais elles pourraient être utilisées soit comme amendement calcique, soit comme engrais phosphaté non classique, par exemple le phosphate alumino-calcique qui peut être cuit. Les fours à chaux et les cimenteries ont des déchets riches en calcium qui pourraient être valorisés comme amendements. De nombreuses usines produisent des cendres ou des déchets organiques, recyclables pour la fertilisation des terres.

Les cendres et les ordures urbaines

Les villes produisent beaucoup de déchets. En général, ils sont recyclés dans la ceinture péri-urbaine : plus ou moins de compostage sous la pluie, puis tri et brûlage des sachets plastiques, enlèvement des pièces métalliques et enfin épandage du terreau pour la fertilisation des cultures maraîchères. Ce système ne flatte pas la vue et l'odorat des visiteurs, mais il semble plutôt performant. On peut craindre des pollutions, notamment par les métaux lourds. Il est évident que, dans les grandes villes, des usines de traitement des ordures sont nécessaires. Certaines produisent des composts destinés à la fertilisation des terres. D'autres produisent des cendres, qui peuvent également servir. Dans les villes petites ou moyennes, il faut vérifier, avant de proposer des usines de traitement des ordures, que le résultat sera plus performant et moins polluant que les systèmes informels en place.

● ***L'approvisionnement et le commerce***

Les engrais sont des produits lourds dont le prix rendu au champ est formé pour le tiers ou la moitié par le coût des transports. Le commerce des engrais dans les pays tropicaux, où les routes sont mauvaises et les transports très chers, est donc un métier difficile.

¹⁹ Carrière à ciel ouvert, broyage.

²⁰ Comparable à celles des phosphates naturels.

Pendant longtemps les subventions ont été jugées indispensables pour que les paysans utilisent des engrais. Il paraissait évident que les engrais devaient être commandés par des organismes de l'Etat ou des sociétés de développement, afin d'obtenir des prix favorables en commandant des quantités importantes d'une seule formule d'engrais choisie pour la culture encadrée et souvent aussi pour les autres cultures. Les organismes para-étatiques semblaient aussi les mieux indiqués pour répartir l'engrais subventionné et le mettre à la disposition de tous les planteurs jusque dans les régions les plus éloignées.

On s'est progressivement aperçu que ce système n'était pas toujours performant, qu'il était coûteux et engendrait beaucoup de rigidité. Dans la filière coton, ce système d'approvisionnement en engrais par une structure para-étatique a plutôt bien réussi : les paysans utilisent des quantités importantes d'engrais, reçues avec un crédit adapté. D'autres filières n'ont jamais réussi à organiser un approvisionnement en engrais durable suivant ce type d'organisation : le café, le cacao, les cultures vivrières. La tendance actuelle est le retrait de l'Etat et la privatisation du commerce des engrais.

● Les commandes collectives

Ce système a l'avantage d'assurer une certaine disponibilité des engrais à des prix constants, même dans des zones reculées. Pour des cultures comme le coton, dont la production est entièrement livrée à un seul acheteur, il permet l'organisation d'un crédit d'engrais pour la campagne, garanti sur la récolte, avec un taux de remboursement excellent.

Mais il a l'inconvénient d'une très faible flexibilité, aussi bien sur les quantités disponibles que sur les formules proposées. En cours de campagne, il est impossible d'augmenter les apports au-delà du stock d'engrais disponible, en fonction du climat de l'année ou des prix pratiqués. En outre, le nombre de formules proposées est limité. Par exemple, un engrais NPKSB convient pour le coton qui a besoin de soufre et parfois de bore. Cet engrais convient aussi pour les céréales, bien que le soufre et le bore ne soient pas toujours indispensables. Mais il n'est pas adapté pour l'arachide, qui n'a pas besoin d'autant d'azote, ni pour les plantes à racines et tubercules qui demanderaient plus de potassium. Des commandes spécifiques, par exemple du super simple pour l'arachide, sont parfois faites quand la demande est suffisante ou dans le cadre d'un projet spécifique sur cette culture.

L'intérêt du *bulk blending*

L'intérêt de grouper les commandes pour acheter des quantités importantes est évident. Quand on importe directement, il faut commander un bateau entier pour obtenir le meilleur prix : 20 000 ou 50 000 t. En utilisant la technique du *bulk blending*, ce sont les matières premières que le fabricant importe par bateaux entiers, pour faire les mélanges. Alors 2 000 t suffisent pour obtenir les meilleurs prix sur une formule spécifique. Des quantités plus faibles de quelques centaines de tonnes restent acceptables. La technique permet donc de faire des formules adaptées aux différentes demandes.

Le système d'appel d'offres permet de choisir le fournisseur qui propose le meilleur prix. Ce système donne l'illusion du meilleur prix. En effet, il se prête beaucoup aux ententes illicites et aux versements de facilitation et il peut mettre tous les fournisseurs dans des conditions où leurs coûts sont élevés. Une formule précise, jusque dans les formes de bore, ne laisse par exemple aucune possibilité de profiter d'offres favorables pour des formules voisines. Surtout si le marché est attribué pour une année et un tonnage déterminé, les fournisseurs n'ont alors aucun intérêt à installer des magasins de stockage dans le pays et souvent aucune possibilité de vendre d'autres engrais dans le pays. Ainsi le système des appels d'offres limite l'installation des réseaux de vente des professionnels du commerce des engrais dans les différents pays, qui permettrait des gains de productivité sur la logistique des engrais et l'obtention du meilleur prix par la concurrence entre les vendeurs.

● **Les subventions et les taxes**

Le but des subventions est de vendre les engrais à des prix moins élevés, ce qui devrait permettre une meilleure rentabilité pour le paysan et donc une consommation plus grande d'engrais. Mais on s'est aperçu que bien souvent, ce système coûteux n'atteint pas son but. En effet, les quantités d'engrais subventionné sont limitées, en fonction des ressources financières disponibles et non des besoins solvables en engrais.

Parfois, les prix avec subvention ne sont pas inférieurs à ce qu'ils seraient sans subvention car les Etats confient l'importation et la vente à des organismes publics peu performants en matière de transport, de manutention et de stockage, ni de mécanismes de financement, d'assurance ou de formalités douanières. L'absence de concurrence ne les pousse pas à devenir performants et le surcoût qui en résulte peut dépasser la valeur de la subvention. Ce surcoût peut de surcroît s'accompagner de retards de livraison, d'inadaptation des engrais aux besoins, de choix d'engrais peu concentrés dont les coûts de transport sont prohibitifs, de prix de vente identiques pour des engrais de concentrations différentes, etc. Les subventions conduisent souvent à des monopoles de fait, même quand le système reste théoriquement ouvert à la concurrence.

La plupart des subventions ont été supprimées. En revanche, un ensemble souvent complexe de taxes est prélevé sur les engrais : droits de douane, TVA, taxes et impôts sur les carburants, etc.

Les Etats ont parfois la possibilité d'améliorer sensiblement les prix des engrais sans fournir de subvention, en supprimant les droits de douanes et les taxes, en améliorant les routes et la sécurité des transports, et en simplifiant les formalités administratives.

● **Les difficultés de la privatisation**

Depuis une dizaine d'années, la privatisation du marché des engrais est en cours. Il s'agit de faire en sorte que le commerce des engrais soit réalisé par des commerçants privés. L'intérêt de ce système serait une meilleure disponibilité des engrais, à des prix plus favorables, grâce à la concurrence entre les fournisseurs. Mais la transition entre la fourniture des engrais par un organisme para-étatique et la formation d'un marché privé des engrais s'est révélée difficile pour plusieurs raisons.

Le crédit reste le problème le plus épineux. Les commerçants privés n'ont pas de problème pour vendre de l'engrais au comptant, par exemple dans les zones

péri-urbaines. Mais une quantité importante d'engrais ne peut souvent être acquise par les agriculteurs qu'avec un crédit adapté, pour que le remboursement se fasse après la vente de la production. Il faut donc l'intervention d'un organisme de crédit, qui travaille avec les coopératives ou les fournisseurs d'engrais.

La question de l'étiquetage et du choix des produits est également très importante lorsque le commerce privé se développe. Il faut que les paysans puissent savoir ce qu'ils achètent et lutter contre les fraudes. Les paysans doivent s'habituer à choisir eux-mêmes les produits qu'ils vont utiliser.

Le problème de l'uniformité des prix à l'intérieur d'un pays se pose. En effet, la privatisation devrait s'accompagner de la liberté des prix et, comme les transports sont chers, les prix deviennent fatalement plus élevés dans les régions difficiles d'accès. Cela n'est guère compatible avec un aménagement du territoire équilibré et des corrections doivent être imaginées, dont la meilleure est l'amélioration des réseaux de transports.

Le frein le plus important à la privatisation est certainement institutionnel. Les opérateurs privés ne peuvent pas investir sur un marché où des administrations ou des ONG reçoivent des engrais, provenant de dons ou subventionnés, dont on ne sait pas quand, à quel prix et en quelles quantités ils vont être vendus. La déstabilisation du marché des engrais par les dons est encore courante dans de nombreux pays.

LA GESTION DE LA FERTILITÉ

On a longtemps considéré que la gestion de la fertilité du sol consistait à préserver son potentiel productif en appliquant des doses recommandées de fumure organique et minérale sur les différentes cultures. Ce raisonnement centré sur la parcelle cultivée repose sur deux principes : corriger les carences originelles du sol et compenser les exportations liées aux récoltes.

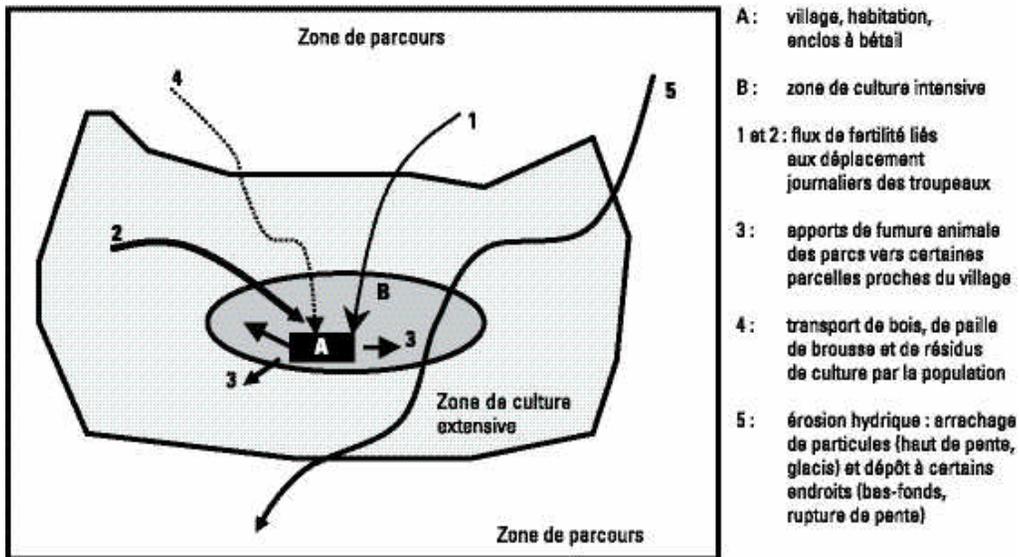
Dans de nombreuses régions tropicales, les agriculteurs ne disposent cependant pas de moyens financiers suffisants ni des ressources en fumure organique pour mettre en œuvre ces recommandations pour chaque parcelle. L'évolution des propriétés du sol correspond par ailleurs à des mécanismes plus complexes que le bilan minéral entre apports de fumure et exportation de produits.

Dans la plupart des situations tropicales, en particulier dans le cas des agricultures familiales, les interactions entre les unités de production sont fréquentes. Elles dépassent le cadre de l'organisation collective pour l'approvisionnement en intrants, le crédit ou la commercialisation des productions. Ces interactions peuvent aussi affecter la fertilité des terres. Ainsi, l'érosion des terres agricoles, les transferts de fertilité dus au bétail au sein du terroir et la destruction de la biomasse végétale par les feux de brousse dépendent de pratiques individuelles mais aussi de comportements collectifs (cf. figure 3).

● *Les échelles de raisonnement de la fertilité*

La gestion de fertilité des terres implique donc des interventions à différents niveaux : des décisions prises par les agriculteurs, à l'échelle de leurs parcelles et de leur exploitation, interfèrent avec celles qui sont prises par différentes catégories

d'acteurs à l'échelle du terroir villageois et de la région. Dans certains cas, les techniques et les règles d'intervention doivent être mises en œuvre par des groupes d'agriculteurs, en relation avec les autres utilisateurs de l'espace rural, comme les éleveurs et les chasseurs.



► Figure 3 : Principaux flux de fertilité au niveau d'un terroir agro-sylvo-pastoral

Tableau 6. Eléments de la gestion de la fertilité du sol, de la parcelle à la petite région

Niveau de prise de décision	Techniques de gestion de la fertilité	Types de décision à prendre
Parcelle cultivée	Fertilisation minérale Apport de fumure organique Paillage et recyclage des résidus <i>in situ</i> Techniques culturales limitant l'érosion (associations de cultures, agroforesterie) Aménagement à la parcelle	Choix d'un aménagement Choix de techniques culturales Choix des dates d'intervention Modulation des apports de fumure en fonction des variations de fertilité dans la parcelle
Exploitation agricole	Aménagement anti-érosif d'un ensemble de parcelles Pratique de la jachère Transfert de fertilité entre parcelles Production de matières fertilisantes Achat de matières fertilisantes	Allocation des disponibilités en fumure sur les parcelles et les cultures Achat et vente de paille, fumier, engrais Allocation des résidus de culture entre les différentes utilisations possibles (fourragère, litière, paillage des cultures, ...) Gestion du foncier de l'exploitation (mise en location ou jachère)
Terroir villageois Petite région	Aménagement anti-érosif collectif Contrôle du feu Groupement d'approvisionnement en engrais et en équipement (charrette)	Contrat de parcage avec un éleveur Règles d'utilisation des parcours collectifs et de la vaine pâture Règles de déplacement du bétail Règles d'utilisation du feu

À titre d'exemple, la pratique de la jachère ne se raisonne pas seulement par rapport à l'état de fertilité de la parcelle cultivée. La mise en jachère n'est effective que si l'exploitation dispose de réserves en terres cultivables. L'affectation des terres à tel ou tel système de culture, les durées de période culturale et de jachère ne se décident donc pas à l'échelle de la parcelle mais plutôt à celle de l'ensemble des terres de l'exploitation agricole, voire des terres du lignage.

● **Jachère, feu et fertilité**

● **Le feu : un apport minéral considérable**

La jachère, et plus généralement la végétation naturelle, accumule des quantités importantes de minéraux dans la biomasse végétale, la litière et les matières organiques du sol. Mais le sol sous jachère reste très pauvre en éléments minéraux assimilables car ils sont absorbés par la végétation. C'est le feu, au moment du défrichement, qui libère ces éléments minéraux et fertilise les terres. L'azote et le soufre sont cependant transformés en produits volatils et évacués dans l'atmosphère. Ces pertes d'azote et de soufre dépendent évidemment de la richesse des matières végétales brûlées. Elles sont très faibles avec les tiges de graminées à maturité, qui contiennent souvent seulement 1 ou 2 kg de N par tonne de matière sèche. Au contraire des tiges qui n'ont pas atteint la maturité, par exemple les années très sèches, contiennent beaucoup plus d'azote.

Les autres éléments minéraux forment les cendres. Une petite partie de ces cendres peut être entraînée dans les fumées ou des flammèches, surtout si le feu est très chaud, et dispersée dans l'atmosphère. La plus grande partie reste sur le sol, où elle forme une poudre très fine, facilement déplacée par le vent. Le plus souvent, le vent ne fait que regrouper les cendres dans les creux du sol ou autour des souches incomplètement brûlées. Quand le vent est plus violent, il soulève les cendres qui peuvent être soit déposées sur les arbres à proximité, soit emportées au loin.

Seule cette dernière partie constitue une perte pour le terroir. Malgré quelques résultats publiés sur les aérosols, il est difficile de déterminer l'ordre de grandeur de ces pertes. Malgré ces pertes, l'apport minéral lié au brûlis est considérable : P, K, bases échangeables, oligo-éléments. La minéralisation ultérieure de la matière organique du sol et la fourniture progressive de l'azote aux cultures sont également favorisées. Les cendres sont basiques et le pH du sol est augmenté de 1 à 2 unités en surface, ce qui permet de cultiver des sols acides.

● **La gestion des feux**

Le feu ne permet toutefois un apport important que dans la mesure où la végétation disponible pour être brûlée est elle-même importante. Les agriculteurs connaissent bien la relation qui existe entre le développement intense d'une jachère herbacée puis arborée protégée du feu et l'état de fertilité du sol, après remise en culture de cette jachère. La fréquence des feux est donc un paramètre essentiel à prendre en considération.

Or, la gestion des espaces en jachère est actuellement peu fréquente. Par le passé, elle a été effective dans certaines régions de savane arborée ou de forêt où les règles de gestion des espaces non cultivées étaient respectées par tous. Elle implique la maîtrise du feu²¹, le pâturage raisonné, et éventuellement la mise en défens, voire l'enrichissement des jachères par différentes espèces végétales.

Le contrôle du feu

De l'interdiction absolue à son utilisation raisonnée (les feux précoces), ce contrôle nécessite une forte cohésion sociale et un engagement collectif pour aménager l'espace et lutter contre les départs des feux accidentels. Les difficultés rencontrées par les ruraux sont diverses : en l'absence totale de feu, les éleveurs peuvent craindre l'embuissonnement des parcours naturels et donc une baisse de leur valeur pastorale ; la chasse, qui est une source importante de protéines animales, peut avoir recours au feu ; etc.

● **Exportations, recyclage, transferts, pollution**

● **Choix des parcelles pour la fumure**

Dans bien des cas, les paysans disposent de ressources en travail et financières limitées. Toutes les parcelles de l'exploitation ne peuvent pas bénéficier des quantités de fumure nécessaires à l'équilibre des bilans minéraux et organiques. L'agriculteur fait des choix et alloue à chaque parcelle une partie des moyens de production disponibles.

Ainsi, face à des ressources en fumure limitées, l'agriculteur peut opter soit pour un apport à faible dose sur la plupart de ses parcelles, soit pour une concentration des apports de fumure là où elle sera la mieux rentabilisée. On constate que les paysans retiennent en général la seconde option : ils choisissent les cultures qu'ils vont fertiliser et raisonnent les effets précédents des cultures fertilisées (cf. le chapitre 423). Les parcelles proches de l'habitation sont souvent privilégiées et les cultures y sont plus intensives avec apport de fumure. Pour ces parcelles, l'investissement en travail est plus important car les paysans peuvent plus facilement intervenir et surveiller les récoltes sur pied.

Les stratégies divergent cependant par rapport au choix des terres fertilisées en fonction de leur potentiel productif : si les agriculteurs concentrent parfois la fertilisation dans les terres au potentiel le plus élevé, cultivées de manière très intensive, ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, en zone soudano-sahélienne africaine, la fumure animale est parfois utilisée dans des terres érodées et appauvries qui ont été aménagées contre l'érosion : l'objectif est alors de régénérer la fertilité du sol et surtout d'accroître la surface cultivable. En zone cotonnière africaine, les apports de fumure minérale sont parfois plus importants dans les sols en voie de dégradation alors que l'entretien des meilleures terres est souvent négligé.

21 Gestion des limites de l'espace qui sera brûlé, de la fréquence des feux, des périodes de mise à feu dans l'année.

● Résidus de récolte, fourrages, vaine pâture

● *Résidus de récolte*

La récolte n'exporte qu'une partie des éléments minéraux mobilisés par la culture. De nombreuses plantes arbustives (l'hévéa, le caféier, etc.) exportent une très petite partie des éléments minéraux qu'ils contiennent. La plus grande partie est soit conservée dans les parties pérennes des plantes, soit retournée au sol par l'excrétion racinaire et la chute de feuilles, de fleurs et de tiges. Au contraire, les céréales peuvent exporter des quantités considérables d'éléments minéraux, en particulier du potassium, si la récolte concerne aussi les pailles, sous-produits aux nombreux usages. Quand les fourrages sont coupés, ils exportent des quantités considérables d'éléments. Mais s'ils sont consommés par des animaux qui séjournent en permanence sur la pâture, la plus grande partie des éléments est recyclée sur place.

Comme nous savons depuis Lavoisier que *«rien ne se crée et rien ne se perd dans le monde de la nature»*, tout ce qui est exporté doit être déposé quelque part : sur l'exploitation ou sur des zones agricoles voisines ou lointaines, qui sont enrichies – il y a alors recyclage avec transfert de fertilité ; dans les déchets autour des villes et des usines qui, s'ils ne sont pas recyclés, deviennent polluants. De nombreux sous-produits ou résidus industriels peuvent être recyclés, par exemple le tourteau de coton et la mélasse, utilisés comme aliments du bétail, la bagasse et les cendres, utilisées pour la fertilisation des terres. Leur emploi entraîne des transferts de fertilité vers les zones proches des usines ou vers les zones d'élevage.

Une partie des éléments récoltés peut être recyclée sur l'exploitation. Les pailles de céréales et les tiges de cotonniers, récoltées comme litière, sont recyclées par le fumier, souvent dans des champs que le paysan veut améliorer : il y a transfert de fertilité entre différents champs. Les cendres des foyers domestiques et les résidus ménagers, les tiges utilisées comme toiture ou comme clôture, après usage, sont soit recyclés dans les champs de case ou les jardins-vergers, soit transportés vers des champs plus éloignés des habitations. Les aliments autoconsommés peuvent être recyclés sous forme de fumier humain ou en mélange avec les autres fumiers. Dans d'autres cas, le fumier humain est stocké dans des fosses. Le recyclage est alors beaucoup plus lent, par l'intermédiaire des racines des arbres, et il peut y avoir pollution localisée de la nappe phréatique.

● *Fourrages*

Les éléments minéraux des fourrages sont en grande partie recyclés par les fèces et les urines. Quand ils servent à nourrir les animaux de l'exploitation, le recyclage est interne à l'exploitation. Quand les fourrages sont vendus, cela représente une exportation minérale importante des zones d'origine et un apport important dans les zones d'élevage où ils sont consommés.

● *Vaine pâture*

Les éléments consommés par les animaux en vaine pâture sur les chaumes sont toujours recyclés à l'intérieur du terroir villageois : sur les champs, sur les parcours non cultivés ou dans les parcs. Il est difficile de savoir comment se répartissent les prélèvements et les restitutions des animaux entre les champs et les parcours non cultivés.

Globalement, cependant, il y a le plus souvent transfert en faveur des champs cultivés, car l'organisation du pâturage et du stationnement des animaux le favorise.

La question de la vaine pâture reste très discutée

Dans les systèmes agropastoraux, le recyclage des résidus de récolte par le bétail lors de la vaine pâture est souvent considéré comme un élément majeur pour le maintien de la fertilité des terres proches des habitations, bénéficiant de grandes quantités de fumure animale. Mais, cette pratique, peu coûteuse en travail, peut être à l'origine d'un gaspillage de paille ; c'est le cas, par exemple, des périmètres irrigués où une grande part de la paille de riz laissée au champ est mal valorisée par le bétail. Après piétinement par les troupeaux, cette paille n'est plus consommable et bien souvent détruite par le feu avant la remise en culture de la parcelle.

En outre, la vaine pâture ne profite pas toujours aux propriétaires des parcelles cultivées : en l'absence de contrat de parcage, les troupeaux transhumants prélèvent des ressources fourragères qui peuvent entraîner un transfert de fertilité vers des situations sans intérêt pour les agriculteurs : parc en dehors du terroir villageois ou dans des zones incultes. Pour améliorer l'efficacité des transferts de fertilité à l'élevage, une coordination des interventions est parfois nécessaire. Lorsque les ressources fourragères se raréfient, agriculteurs et éleveurs doivent trouver des solutions pour éviter les pertes et les gaspillages : le stockage des résidus de récolte et la distribution de rations correspondant aux besoins des animaux se généralisent. Ceci permet d'éviter les départs en transhumance des animaux du terroir, contribue à l'accroissement de la production de fumure animale et, de ce fait, agit sur la fertilité des terres.

● **Intérêt et limites du calcul des exportations végétales**

Le principe de l'estimation des exportations est simple : peser les récoltes et les résidus sortis du champ, estimer leur teneur en matière sèche et analyser leur contenu en éléments minéraux. Cette estimation permet de calculer les quantités d'éléments exportées par les récoltes, par les sous-produits et par les résidus, que l'on peut exprimer en kg/ha d'élément ou en unités fertilisantes par hectare. Il est souvent commode de calculer les quantités exportées par tonne de produit utile récolté, pour permettre l'extrapolation des résultats en fonction des seules productions.

Cependant, l'estimation est souvent plus difficile qu'il paraît *a priori*. Par exemple, estimer le poids de matière sèche des tiges de maïs en période humide est compliqué car on ne peut pas les faire sécher au champ avant de les peser, ce qui implique un échantillonnage très soigneux pour limiter les incertitudes sur les teneurs en matière sèche. Pour de nombreux organes, les teneurs en éléments minéraux sont très hétérogènes. En outre, elles sont variables suivant les variétés, les conditions de cultures, les dates de récolte, etc. Dans certains cas, enfin, il y a une imprécision sur les sous-produits ou les résidus effectivement sortis du champ. Par exemple, il est difficile d'estimer ce qui est effectivement mangé par les animaux en vaine pâture après la récolte.

Le tableau 7 donne quelques exemples d'exportations de cultures annuelles en fonction des parties récoltées. L'utilisation de ces données dans le cadre de la réalisation de bilans minéraux est discutée ci-après.

Tableau 7. Exemples d'exportations minérales, par tonne de grain, coton-graine ou gousse, suivant les parties effectivement ramassées (d'après Pieri, 1989)

Culture	kg/ha paille	kg/ha grains		Exportations en kg/ha/t de récolte				
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Mil	5125	1785	Grains seuls	20.4	5.4	5.2	0.3	1.8
			Parties aériennes	49.6	10.0	73.7	12.2	16.8
Sorgho	7700	4600	Grains seuls	13	8	5	0.5	2.4
			Parties aériennes	20	11.5	30	8	7
Maïs	4000	3000	Grains seuls	19	6.7	6	0.8	2.2
			Parties aériennes	34	10.6	42	6.2	5.8
Riz pluvial	2000	1400	Grains seuls	17.1	6.9	3.6		
			Parties aériennes	34.3	10.3	37.8		
Cotonnier	?	1675	Coton-graine	22.5	8.2	11.7	2.6	3.3
			Parties aériennes	36.2	11.1	34.3	15.4	8.3
Arachide	3875	2350	gousses	38.9	6.6	8.5	0.5	2.4
			Parties aériennes	66.8	10.7	41.4	19.5	15.8

● Les bilans minéraux et l'évolution de la fertilité

Les bilans minéraux permettent de prévoir pour les différents éléments si le sol va s'enrichir ou s'appauvrir. Si le sol s'appauvrit en éléments déjà peu abondants, des carences risquent d'apparaître ou de s'aggraver. Au contraire, s'il s'appauvrit en un élément surabondant, cela est sans importance, ou même favorable. S'il s'enrichit en des éléments peu abondants, cela améliore sa fertilité et permet de bénéficier de *l'effet vieille grasse* : en effet, les rendements sont plus élevés dans les sols fertilisés régulièrement. Inversement, l'enrichissement en un élément déjà abondant est du gaspillage et peut devenir polluant.

Le principe du bilan est très simple : estimer tous les flux. Il faut tenir compte des apports agricoles²², des apports naturels²³, des apports par fixation d'azote, des exportations par les plantes²⁴, des pertes²⁵ et des transformations dans le sol entre formes assimilables et réserves non ou peu assimilables.

L'estimation peut être faite à différentes échelles spatiales : la parcelle d'essai, le champ, l'exploitation, le terroir villageois, la région, la terre entière. Différentes échelles de temps peuvent être considérées : l'année, la rotation, la décennie (amortissement des matériels), le siècle (forêt, pérennité de l'agriculture), le millénaire (périmètres irrigués). Les problèmes d'estimation sont très différents suivant les échelles. Par exemple, la décomposition des roches est négligeable à l'échelle de la parcelle et de quelques années. Elle n'est pas négligeable à l'échelle du terroir et du siècle. L'estimation des exportations et des restitutions par les résidus de récolte et le fumier est importante à l'échelle de la parcelle, mais peu importante à l'échelle du terroir où tous les résidus sont finalement recyclés.

²² Engrais, fumiers, résidus, engrais verts, etc.

²³ Pluies, poussières, aérosols, apports par l'eau qui ruisselle, décomposition des roches.

²⁴ Récolte utile, résidus enlevés, pertes de N dans l'atmosphère.

²⁵ Drainage, érosion hydrique ou éolienne, pertes dans l'atmosphère.

L'estimation, même approximative, de ces flux est particulièrement délicate. En effet, les apports par les engrais et les fumiers et les exportations par les récoltes sont assez bien connus. Tous les autres ne sont estimés que de façon très grossière. Le changement d'échelle est un problème redoutable : faire le bilan à la parcelle et multiplier par le nombre d'hectares cultivés ne peut pas donner une estimation réaliste du bilan régional. Il faut refaire l'étude à l'échelle régionale.

Enfin, les bilans minéraux sont souvent utilisés pour des plaidoyers en faveur des subventions pour les engrais, ou au contraire contre les pollutions dues aux excès de restitutions.

Malgré de nombreuses publications sur ce sujet, on connaît très mal les bilans minéraux des milieux de culture peu intensive, où les apports par les engrais et les exportations par les ventes de récoltes ne représentent qu'une part minoritaire des flux d'éléments minéraux. Les résultats des modèles mathématiques utilisés ont la même précision que les données et estimations utilisées dans le calcul.

Comparer les résultats de bilans avec l'évolution des rendements aux champs

Ce peut être fait sur des chrono-séquences : on mesure les rendements, dans des champs d'âge différents. Par exemple, Taonda²⁶, au Burkina Faso, a observé une forte diminution des rendements sous culture, mais elle est due au défaut de l'infiltration de l'eau quand la structure du sol se dégrade. On a aussi utilisé les statistiques régionales ou nationales pour estimer l'évolution des rendements des cultures. Cette méthode pose de nombreux problèmes, car ces statistiques sont rarement fiables. Par ailleurs, il y a de nombreuses interférences avec le climat et les conditions économiques. Par exemple, on peut observer une augmentation des rendements du maïs et une diminution de ceux du coton, ou l'inverse, ce qui ne permet pas de conclure sur le sens d'évolution de la fertilité du sol. Signalons enfin une erreur fréquente : quand les rendements sont constants, avec les mêmes techniques, cela indique la stabilité de la fertilité et non une baisse de la fertilité.

● **Les amendements organiques, calciques ou acidifiants**

● **L'utilisation du fumier**

Le passage par le tube digestif de l'animal et la fermentation pendant la fabrication du fumier n'empêchent pas le recyclage des éléments minéraux. Au contraire, ils sont favorables car ils suppriment une grande quantité de matière organique soluble ou facilement fermentescible. Les fumiers sont plus facilement transportables et ils peuvent être enfouis aisément.

Lors du passage par l'animal, il y a toujours des pertes d'azote : volatilisation directe de NH_3 à partir de la transpiration et de la respiration ou à partir des bouses, des urines, des lisiers et des fumiers, pertes par dénitrification. Au total, il n'est pas rare que 50 % de l'azote absorbé par les animaux soit ainsi perdu. Les autres éléments sont bien recyclés. L'animal et l'utilisation du fumier induisent des transports d'éléments minéraux à l'intérieur du terroir. Mais il n'y a que des transferts : le fumier ne crée pas de richesses minérales.

26 TAONDA S.J.B., BERTRAND R., DICKEY J., MOREL J.L., SANON K., 1995.: *Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso*. Cahiers Agricoles 4 (5); p.363-369.

Le fumier a d'autres effets favorables : maintenir des teneurs plus fortes en matière organique du sol ; améliorer la structure du sol ; en sol acide, augmenter le pH et surtout empêcher la toxicité aluminique en complexant les ions aluminium en solution ; en sol alcalin, diminuer le pH ; etc.

Le fumier est donc à la fois un amendement, qui améliore les conditions physico-chimiques du sol, et un engrais qui fournit des éléments minéraux pour la croissance des plantes. Les paysans l'utilisent souvent comme amendement, en le concentrant sur les zones peu fertiles pour les maintenir en culture. Il est ainsi souvent apporté en même temps qu'une fumure minérale complète, qu'il permet de bien valoriser. Comme engrais, il peut se substituer à une partie de l'engrais minéral.

La dose optimale de fumier

La question est souvent discutée dans les services de vulgarisation. Dans l'utilisation comme engrais, la dose n'a pas d'importance : il faut répartir le fumier disponible, pour recycler les éléments minéraux. En revanche, dans l'utilisation comme amendement, il peut y avoir un effet de seuil. Par exemple, dans un sol acide, il faut apporter assez de fumier pour que la plante puisse pousser normalement et bien répondre aux engrais minéraux. La dose optimale est la plus faible dose qui permet d'atteindre cet objectif de croissance correcte de la culture projetée. Elle est donc variable suivant les champs. La dose minimale sera plus faible quand la texture est sableuse. On suggère souvent la dose de 5 t/ha de fumier sec, tel qu'il se présente en fin de saison sèche : c'est une dose forte, équivalente à 20 t/ha de fumier humide à 20-25 % de matière sèche. Ce n'est qu'un ordre de grandeur que le paysan ajustera en fonction de sa situation.

Les vulgarisateurs demandent souvent l'équivalence entre fumure organique et engrais minéraux, pour conseiller une diminution de la dose d'engrais minéraux quand on apporte du fumier. Cette demande n'a, à notre connaissance, pas reçu de réponse satisfaisante, car le contenu minéral des fumiers est très variable.

● Les amendements inorganiques

Les amendements calciques sont peu utilisés, bien que beaucoup de sols tropicaux soient acides et qu'il existe des gisements de calcaire ou de dolomie dans beaucoup de pays. C'est certainement une question de prix, car ces amendements, utilisés à fortes doses, ont un coût qui dépend des coûts de transport. Le phosphate naturel apporte beaucoup de calcium et il est parfois autant un amendement calcique qu'une fertilisation phosphatée. On peut espérer des progrès sensibles dans l'utilisation des sols acides, par exemple disposer de variétés adaptées, qui pourront pousser dans des conditions rentables, avec des doses modérées d'amendement calcique.

Le problème de l'excès de sel se pose dans de nombreux périmètres irrigués des régions sèches. Leur amélioration peut se faire par des apports de gypse ou de phosphogypse. Quand il y a du calcaire dans le sol, l'apport de soufre en fleur, qui s'oxyde en SO_4^{2-} , permet d'acidifier le sol.

● Agroforesterie, couverture du sol, mulch ou enfouissement

● L'échelle des parcelles et des terroirs

Le drainage et l'érosion hydrique sont toujours à craindre dans les pays tropicaux, parce que les pluies sont concentrées sur quelques mois où elles sont surabondantes et souvent violentes. L'eau qui draine entraîne des cations, principalement Ca^{++} et Mg^{++} , en quantité d'autant plus grande qu'elle contient des anions tels que les nitrates. Les racines des plantes peuvent absorber ces ions avant qu'ils ne soient entraînés trop profondément et les remonter vers la surface. Le meilleur moyen pour limiter l'érosion est d'avoir une bonne couverture du sol qui empêche l'impact des gouttes de pluies sur les mottes (cf. le chapitre 233). Il est donc important d'avoir, pendant les mois très pluvieux, une bonne couverture du sol qui limite les risques d'érosion, évapore le maximum possible d'eau infiltrée et absorbe les ions avant qu'ils soient lixiviés. Plusieurs méthodes, traditionnelles ou non, permettent cela (cf. chapitre 434).

L'érosion hydrique est un phénomène qui affecte des portions du terroir villageois, et pas uniquement une ou plusieurs parcelles cultivées. Son contrôle constitue un élément de base pour une bonne gestion de la fertilité du sol. La lutte contre l'érosion hydrique met en jeu des techniques culturales liées à la conduite de la parcelle et la construction de dispositifs antiérosifs dans les champs et sur leurs bordures, sur les hauts de pente non cultivés et dans les espaces devenus incultes à cause du ravinement. Souvent, les agriculteurs mettent en œuvre ces techniques au niveau de leur champ ou de la portion de terre qu'ils ont en propriété. Or, l'efficacité de ces techniques est accrue lorsqu'elles sont appliquées pour un ensemble de champs ou, mieux, pour un bassin versant. Cette coordination d'interventions et l'investissement en travail collectif sont indispensables lorsque l'érosion hydrique n'est plus maîtrisable de façon isolée (ravinement profond et large ou ensablement de bas fond).

● Exemples de techniques de conduite de cultures

● Cultures associées

Les cultures associées et les cultures de variétés photopériodiques traditionnelles permettent d'installer les cultures dès les premières pluies et de maintenir le sol couvert jusqu'à l'épuisement des réserves en eau du sol après la fin de la saison de pluies.

L'agroforesterie est une tradition solidement établie dans les régions tropicales : association des palmiers à huile aux cultures annuelles dans les régions côtières d'Afrique de l'Ouest, parcs à *Faidherbia albida* ou à karité²⁷ et à néré²⁸ des régions soudanaises et sahéliennes (cf. chapitres 411 et 424). Les arbres participent au maintien de la fertilité par l'absorption en profondeur des éléments minéraux lixiviés ou libérés par l'altération des minéraux primaires, qui sont remontés vers la surface où ils sont recyclés.

²⁷ *Vitellaria paradoxa*.

²⁸ *Parkia biglobosa*.

● Engrais verts

Les engrais verts sont des cultures réalisées dans le seul but de fertiliser les terres. Ce sont généralement des cultures dérobées (cf. chapitre 423) qui permettent de stocker des éléments minéraux, qui risqueraient sans cela d'être perdus, dans des tissus végétaux jeunes qui se décomposent facilement pour alimenter la culture suivante. Un cas est particulièrement intéressant : la culture de saison sèche en rizière, qui accumule l'azote sous forme organique, évite qu'il soit nitrifié puis dénitrifié à la mise en eau de la rizière.

● Plantes de couverture

Les plantes de couverture permettent de couvrir le sol en permanence d'une végétation basse qu'il est possible de contrôler par des moyens mécaniques ou chimiques. Ce couvert végétal continu permet un excellent contrôle de l'érosion, même sur des pentes fortes et sur des sols fragiles. Il permet une évapotranspiration maximale et absorbe la plupart des éléments minéraux avant qu'ils ne soient lixiviés. L'ombrage permanent réduit la température du sol et limite ainsi la minéralisation de la matière organique, alors que les résidus végétaux permettent de maintenir des teneurs en matière organique élevées. Par contre, les engrais ne peuvent pas facilement être mélangés au sol. Il est possible de les localiser en profondeur ou de faire un travail localisé autour des arbres ou sur la ligne de semis.

L'utilisation des plantes de couverture est habituelle pour protéger le sol des jeunes plantations d'arbres, dans les régions humides, et les résultats sont meilleurs qu'avec un enherbement naturel. Pendant les dernières décennies, des techniques semblables ont été développées pour les cultures annuelles, grâce à l'utilisation d'herbicides pour limiter la concurrence avec la jeune culture et à la mise au point de matériels adaptés pour réaliser les semis dans le mulch, vivant ou mort, ou pour réaliser un travail localisé du sol sur la ligne de semis. Ces techniques sont particulièrement bien adaptées pour la culture mécanisée en régions très humides et pour les semis pendant les périodes très pluvieuses.

Tableau 8 Influence de la couverture du sol sur la croissance du palmiste (*acanthophoenix crinita*) de trois ans et demi (d'après Normand, 1999)

Couverture	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	<i>Arachis pintoï</i>	<i>Lotus uliginosus</i>	Enherbement naturel	<i>Vigna parkeri</i>
Longueur dernière feuille (cm)	176 a	158 ab	155 ab	131 b	173
Surface dernière feuille (m ²)	1,18 a	0,99 ab	0,99 ab	0,71 b	1,18
Diamètre du tronc	18,6	15,1	15,2	11,5	18,2

a et b: différences significatives au test de Newman-Keuls au seuil 5 %.

● Utilisation des engrais

● Connaissance des engrais et condition d'accès

L'effet des engrais est spectaculaire. Les paysans le connaissent bien, grâce à de nombreuses démonstrations qui ont été faites partout. De nouvelles démonstrations d'engrais ne sont utiles que pour des produits nouveaux, autres que les engrais classiques : phosphate naturel, amendement calcique, oligo-éléments, etc. Il faut alors bien prendre les moyens de montrer en quoi ce produit est différent des engrais classiques et dans quelles conditions il est rentable.

L'agriculteur ne cherche pas à apporter juste ce dont les plantes ont besoin, mais à faire un investissement rentable. Cela n'est évidemment possible que lorsque les paysans peuvent vendre une partie de la récolte pour payer les engrais et que le rapport entre le prix des produits récoltés et le prix d'achat des engrais est favorable. Il faut comparer la rentabilité et les risques de l'engrais à ceux des autres investissements. Souvent le défrichement de nouvelles terres, aussi longtemps qu'il y en a de disponibles ou l'achat de matériel de culture attelée sont plus rentables et moins risqués.

Par ailleurs, il faut que l'engrais soit effectivement disponible. Pour cela, il faut des magasins dans les villages, près des exploitations, des facilités de crédits et des conditions de remboursement adaptées à la production prévue. Le crédit de campagne est bien adapté pour les cultures annuelles, mais pour des plantations arbustives, il faut un crédit sur plusieurs années. Ces contraintes de disponibilité physique, de crédit et de remboursement sont beaucoup plus importantes pour l'utilisation des engrais que le détail des formules et des doses. En effet, dans un contexte de libéralisation économique et de désengagement des Etats, les agriculteurs ne peuvent plus bénéficier de subventions et de services d'approvisionnement et de crédit gérés par des sociétés publiques de développement agricole. La réduction de l'utilisation de la fumure minérale observée dans les années 80 s'explique en grande partie par ces évolutions. L'action collective devient intéressante pour organiser de nouvelles structures d'approvisionnement en intrants qui s'appuient sur des structures villageoises mais nécessite aussi de fédérer ces structures au niveau régional (cf. chapitres 221 et 222).

● Choix des doses

On doit choisir des doses de fertilisant à partir de renseignements qui sont toujours incomplets : on ne peut pas connaître à l'avance les besoins exacts des plantes²⁹, ni la capacité du sol à fournir les éléments minéraux³⁰. Cependant plusieurs méthodes permettent de choisir des doses raisonnables.

Les calculs de l'optimum économique et des rapports bénéfice/coût permettent de déterminer les meilleures fertilisations possibles dans les situations pour lesquelles les expérimentations ont été faites. Ils fournissent des ordres de grandeurs indispensables, mais ils ne donnent pas directement un conseil de fumure, car on ne les connaît qu'*a posteriori*.

29 Qui dépendent du climat et de nombreux autres facteurs.

30 Variable d'un champ à l'autre et d'une année à l'autre.

Les autres méthodes évaluent un optimum technique :

- > les analyses de sol donnent de bons résultats si l'on a de bonnes normes d'interprétation (cf. plus haut). Elles sont bien adaptées pour décider des fumures de correction ;
- > les analyses de plantes donnent des résultats excellents pour ajuster ou corriger les fertilisations minérales de nombreuses cultures arborées ou pérennes ;
- > sur les cultures annuelles, la méthode des bilans est bien adaptée au calcul des fumures d'entretien. Les besoins d'engrais sont alors les quantités nécessaires pour compenser les exportations par les cultures et les pertes. Il faut tenir compte des apports (résidus, fumiers), des reliquats d'engrais des années précédentes, de la fixation biologique de l'azote, des consommations par la plante (grains, paille) et des pertes : drainage, fixation irréversible des éléments solubles des engrais. On les calcule à partir des poids de récolte et de fumier, de normes de contenu minéral³¹, et des informations dont on dispose sur les pertes.

Pour la vulgarisation, on utilise fréquemment des normes de fertilisation. Le message transmis aux paysans propose, alors, pour chaque culture, une fertilisation adaptée au rendement moyen ou une gamme de fertilisations possibles suivant les objectifs de rendement. Ces normes ne sont rien d'autre que la traduction, en un message simple, des résultats moyens obtenus par les autres méthodes. On fait souvent référence à une dose vulgarisée qui est à la fois :

- > la dose conseillée, bien adaptée aux cas de réponse moyenne à l'engrais ; il est bien évident qu'elle ne peut pas être adaptée à toute la diversité des situations ;
- > la référence pour définir des droits à crédits.

Mais c'est le paysan qui décide finalement de la dose qu'il apporte, car c'est lui qui paie les engrais.

● Choix des formules

La formule a un petit aspect magique, mais il faut bien se rendre compte qu'il ne peut pas exister une formule miracle, qui serait indiscutablement meilleure que toutes les autres dans toute une région. En effet, pour des formules NPK ayant des équilibres voisins et pour des doses totales en éléments fertilisants identiques, les différences de réponse sont dépendantes de nombreux facteurs tels que les variations aléatoires de fertilité à l'intérieur d'un champ ou entre champs voisins, le climat de l'année, les techniques culturales.

Le choix entre les formules doit d'abord se faire sur des critères de prix. Il ne faut pas payer plus cher pour avoir une formule donnée, si l'on peut obtenir une formule voisine à un prix plus favorable. Il convient de comparer les prix à l'unité fertilisante et de tenir compte du fait que l'unité de phosphore est généralement plus chère que celle d'azote ou de potassium.

Pour un même équilibre, un engrais plus concentré coûte évidemment plus cher au kilo, mais ne coûte pas plus cher à transporter, de sorte que le prix de revient à l'unité fertilisante rendue au champ est plus favorable.

³¹ Ou d'analyses.

Il faut donc choisir des engrais plus concentrés dans les régions éloignées des ports et des usines d'engrais, car l'incidence du prix de transport sur le coût de l'engrais est alors importante.

Du point de vue du paysan, le choix est souvent très limité : une ou deux formules sont proposées par les services de vulgarisation et ce sont les seuls engrais disponibles dans la région. Cette situation change avec la privatisation du commerce des engrais, qui peut avoir des avantages (choix plus grand et concurrence sur les prix) mais aussi des inconvénients : mauvais étiquetage, risques de falsification, absence de fournisseur lorsque le marché est trop petit.

● Date et mode d'apport

On peut choisir la date d'apport : avant le labour, au semis, au sarclage, à la floraison, en une seule fois, ou fractionné en deux fois ou plus. On peut également épandre l'engrais de nombreuses façons : à la volée, localisé en bande ou en ligne, autour des pieds, en surface ou enfoui.

Il existe une abondante littérature sur ce sujet, avec des résultats souvent contradictoires. Dans beaucoup de cas, le mode et la date d'apport n'ont pas une si grande importance car les plantes sont adaptées pour aller chercher les éléments minéraux là où ils se trouvent et les utiliser, sauf dans certains cas :

- > les engrais et amendements peu solubles (phosphate naturel, amendements calcaires, etc.) doivent être épandus uniformément et bien mélangés à la terre, de préférence assez longtemps avant la culture ;
- > dans les sols à fort pouvoir fixateur, les engrais solubles doivent être localisés pour limiter leur fixation ;
- > quand le climat est très pluvieux, il faut apporter l'azote en plusieurs fois, surtout pour les fortes doses ;
- > dans les sols très pauvres, il faut un minimum de fertilisation à l'installation de la culture, afin de permettre une croissance minimum indispensable pour que les apports ultérieurs d'engrais soient bien utilisés ;
- > pour les jeunes arbres, la fertilisation doit être localisée dans les zones explorées par les racines.

Il faut éviter les apports d'engrais dans les zones où les racines ne sont pas fonctionnelles : sol sec en surface, horizon très acide, etc.

La croissance des racines dans la zone fertilisée est souvent exubérante. Les racines ne sont pas attirées par les zones enrichies, mais quand une racine y parvient, sa croissance est accélérée et elle émet de nombreuses racines secondaires. Il en résulte une absorption plus intense de l'eau et des éléments minéraux.

ENTRE AGRICULTURE MINIÈRE ET POLLUTION

L'appauvrissement des sols par des exportations incomplètement compensées par des restitutions, peut entraîner une diminution de la fertilité du sol, d'autant plus grave qu'elle se produit dans des pays pauvres avec un accroissement démographique rapide. On craint légitimement ce type d'évolution dans les pays tropicaux où l'on n'utilise pas d'engrais, alors que la population et l'urbanisation s'accroissent rapidement.

Les pollutions étendues, dues à l'excès d'apport d'engrais sur des régions entières ne sont pas encore à craindre en pays tropicaux dans le cadre de cultures pluviales, car les apports d'engrais sont en moyenne modestes. Par contre, on peut craindre des accumulations de minéraux, dues aux apports par l'eau ou par recyclage des éléments provenant de vastes régions sur des zones limitées et par des doses d'engrais excessives sur des cultures particulières, qui dégradent le milieu dans les zones habitées, les zones périurbaines et dans les périmètres de culture intensive, en particulier les cultures irriguées.

Bibliographie

- BERTRAND R., GIGOU J., 2000, *La fertilité des sols tropicaux*. Paris, Maisonneuve et Larose. (Le technicien d'agriculture tropicale), 397 p.
- NORMAND F. 1999., *Les couvertures végétales vives en zones humides à l'île de la Réunion*. In : RASOLO F., RAUNET M. (Eds) 1999 : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Montpellier, CIRAD, Coll. Colloques : p.215-224.
- PIERI C. 1989, *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricoles au sud du Sahara*. Paris. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT ; 444 p.
- VON UEXKULL H.R., BOSSHART R.P., 1989, *Emploi rationnel des engrais sur les sols acides en zones tropicales humides*. Bulletin FAO Engrais et nutrition végétale n° 10, 56 p.

La gestion de l'eau

À partir des contributions de F. Affholder (CIRAD),
F. Forest (CIRAD), B.Lidon (CIRAD) et M.J. Valony (CNEARC)

Lorsqu'une faible humidité du sol limite la transpiration d'une culture, sa productivité diminue (cf. chapitres 412 et 414). L'objectif prédominant de la gestion de l'eau, à l'échelle de la parcelle, est alors d'accroître cette transpiration en minimisant les pertes par évaporation, drainage ou ruissellement, et en augmentant les apports, par irrigation ou par augmentation de la zone de sol exploitée par les racines.

À l'inverse, lorsque de l'eau en excès gêne l'activité biologique dans le sol et réduit la disponibilité en éléments nutritifs, il faut s'efforcer de minimiser les périodes où le sol est saturé. La transpiration est dans ce cas peu variable dans le temps. L'objectif à atteindre en termes de gestion de l'eau est alors l'augmentation du drainage.

Le bilan hydrique est un outil de raisonnement des situations de déficit et d'excès en eau. Après l'avoir présenté, nous décrirons les principales techniques permettant d'ajuster l'offre et la demande en eau à la parcelle et nous les illustrerons par quelques exemples.

LE BILAN HYDRIQUE

● *Equation du bilan hydrique*

Le bilan hydrique exprime la conservation, entre deux dates quelconques, de la masse d'eau présente dans le système sol/plante/atmosphère. Cette eau est répartie entre l'eau stockée dans le sol et la plante d'une part, et les flux entrant et sortant de cette réserve d'autre part (cf. figure 1).

Variation du stock d'eau du sol

La variation de stock entre deux dates est égale au bilan de ces flux, selon l'équation :

$$S = P + I - E - T - D - R, \text{ où :}$$

P = précipitations reçues entre les deux dates ;

I = irrigations ;

E = évaporation du sol ;

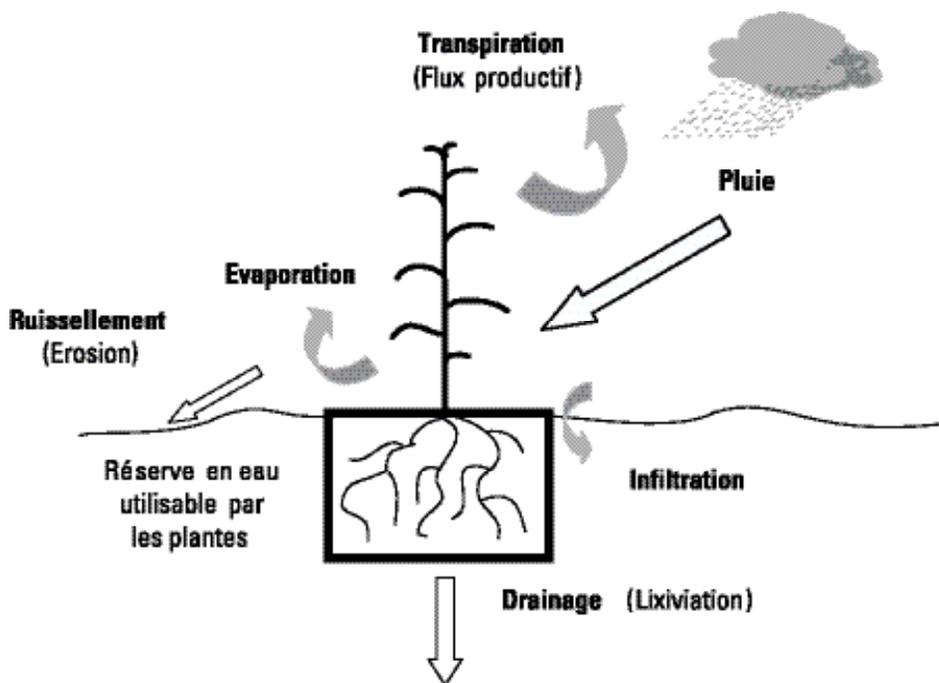
T = transpiration des plantes ;

D = drainage sous la zone de sol exploitée par la culture ;

R = pertes en eau par ruissellement de surface ;

S : variation du stock d'eau du sol (aux échelles pertinentes pour l'analyse des systèmes de culture, les variations de stock dans les plantes sont négligeables).

Certains des termes de cette équation sont peu accessibles à la mesure, mais peuvent être déduits de cette équation si tous ses autres termes sont connus. Par ailleurs, selon l'échelle spatio-temporelle d'analyse, certains termes du bilan hydrique peuvent être négligés ou non.



► Figure 1. Bilan hydrique en culture pluviale

S'il s'agit d'évaluer grossièrement pour une culture donnée la contrainte hydrique dans une région, *le bilan hydrique climatique* dans lequel sont négligés tous les flux sauf les pluies et l'évapotranspiration, prise alors à son niveau potentiel, permet une première approximation parfois suffisante. Le pas de temps de l'analyse est alors au moins mensuel. Un pas de temps plus court est requis dès lors que l'on s'intéresse aux effets de la gestion technique de la culture sur le bilan hydrique, du fait des interactions importantes entre cette gestion technique et chacun des termes du bilan hydrique. Lorsque l'on reste dans l'optique de comparaisons régionales, les pas de temps de cinq et de dix jours sont parfois pratiques pour le calcul de l'évapotranspiration, mais compte tenu de la grande sensibilité du système sol/plante/atmosphère à la distribution quotidienne des pluies, un pas de temps journalier est à conseiller autant que possible dès que l'on se place dans l'optique du diagnostic à l'échelle de la parcelle.

L'influence du bilan hydrique sur la productivité dépend d'interactions complexes entre les facteurs de l'offre et de la demande hydrique du système sol/plante/atmosphère. L'analyse du bilan hydrique doit être faite en tenant compte notamment du fait que la sensibilité des cultures au stress hydrique et à l'excès d'eau est variable selon les espèces et en fonction de leur stade de développement (cf. chapitre 414).

Les possibilités d'actions pour l'améliorer ne peuvent être identifiées que par un diagnostic du poids relatif de ces facteurs dans le bilan hydrique et de l'influence de ce dernier sur le rendement. Cette hiérarchie est en effet très variable selon les environnements.

Par exemple, dans un environnement où la pluviométrie limite fortement l'offre en eau du sol tout au long de la saison¹, les seules voies d'amélioration du bilan hydrique seront le calage du cycle cultural dans la saison, la réduction de la demande par limitation de l'évaporation ou par extensification de la culture² et l'irrigation.

Dans une situation où l'offre est en excès par rapport à la demande à certaines périodes du cycle, augmenter la réserve utile racinaire sera efficace pour réduire l'impact d'autres périodes où l'offre est au contraire déficitaire.

Si l'offre pluviométrique est réduite par un ruissellement important, on privilégiera la lutte contre le ruissellement dans le cas où l'offre du sol est effectivement limitante ; mais si malgré le ruissellement la réserve utile racinaire est fréquemment remplie, réduire le ruissellement risque de provoquer surtout une augmentation du drainage et des pertes minérales qui y sont associées, avec peu d'effets bénéfiques sur la transpiration.

Réaliser un tel diagnostic suppose d'évaluer le bilan hydrique et sa variabilité en fonction de la variabilité des facteurs :

- > climatiques, sur lesquels l'agriculteur n'a pas de possibilités d'action ;
- > du système de culture, qui peuvent être modifiés par l'agriculteur.

● **L'évaluation du bilan hydrique**

Tous les termes du bilan hydrique s'expriment en hauteurs d'eau (mm), correspondant à un volume d'eau par unité de surface ($1 \text{ mm} = 1 \text{ litre/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$). Ils sont accessibles à la mesure, avec des précisions variables selon le terme considéré et la méthode employée, et les plus coûteux à mesurer peuvent être évalués par des modèles de simulation.

● **Précipitations**

Les méthodes de mesure de la pluviométrie sont évoquées au chapitre 412. Rappelons cependant que la pluviométrie est une donnée extrêmement variable dans le temps et l'espace, et que s'il s'agit du terme du bilan hydrique dont la mesure est la plus facile, la nécessité de la réaliser avec une fréquence élevée et avec un maillage dense constitue néanmoins une contrainte.

● **Irrigation**

La dose apportée peut être calculée en fonction des débits du système d'irrigation, en tenant compte des pertes diverses en amont des parcelles. Dans le cas, fréquent en irrigation, d'une forte hétérogénéité spatiale de la distribution d'eau et lorsqu'une précision élevée est requise, il peut être nécessaire de mesurer le plus directement

1 Ruissellement faible, capacité de stockage élevée du sol, culture à enracinement profond.

2 Espèce moins exigeante ou fertilisation et densités de semis plus faibles.

possible la dose apportée à chaque parcelle : pluviomètres en irrigation par aspersion, ou calcul du débit à la raie en irrigation gravitaire.

● Evaporation et transpiration

Ces deux flux sont particulièrement difficiles à mesurer directement. Transpiration et évaporation sont donc obtenus généralement par bilan, ne donnant cependant accès qu'à la somme des deux flux, l'évapotranspiration.

Dans le cas où l'eau du sol n'est pas limitante, l'évapotranspiration est au niveau maximal qu'elle peut atteindre pour la culture considérée (ETP_c : évapotranspiration potentielle de la culture), compte tenu de la valeur de la demande atmosphérique en eau évaluée par le biais d'une évapotranspiration potentielle de référence, ET_0 . La mesure et l'évaluation de l' ET_0 sont décrites au chapitre 414. Grossièrement, ET_0 varie dans les régions tropicales entre 2 mm/jour et 7 mm/jour en saison des pluies.

Le rapport entre ETP_c et ET_0 varie au cours du cycle de la culture, principalement en fonction de l'indice de surface foliaire, LAI (rapport de la surface de feuilles à la surface occupée au sol par la culture, cf. chapitre 414). Comme cet indice dépend de la fertilité du sol, de l'espèce et du cultivar utilisé, et d'une manière générale de toutes les pratiques culturales, la demande en eau de la culture dépend également de tous ces facteurs.

Dans le cas où aucun de ces facteurs n'est limitant pour la croissance, l'indice de surface foliaire suit une courbe temporelle qui ne dépend que du rayonnement et de la température, et l'évapotranspiration potentielle de la culture est maximale : c'est l' ETM .

Evapotranspiration et coefficient cultural

Le rapport entre évapotranspiration potentielle maximale de la culture et l'évapotranspiration potentielle de référence est également maximal et reçoit le nom de coefficient cultural, k_c . Ce dernier varie le plus souvent entre 0,4 et 1,4 en fonction de l'espèce cultivée, du stade de développement et du niveau de croissance (cf. figure 2).

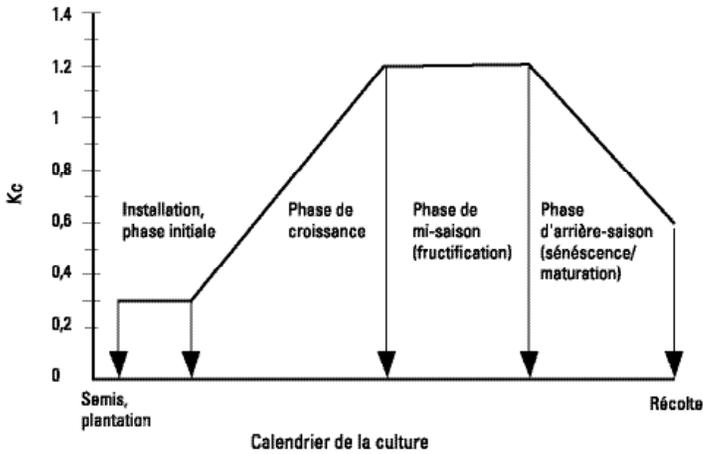
$$Kc = ETM/ET_0 = \max(ETP_c)/ET_0$$

La relation entre le coefficient cultural et le LAI n'est pas linéaire : le Kc augmente d'abord rapidement avec l'indice foliaire, puis devient progressivement moins variable et se stabilise à des valeurs comprises entre 1,1 et 1,4 pour des LAI élevés (au-dessus de 4). Cette relation dépend de la géométrie du couvert (recouvrement des feuilles et rugosité).

Lorsque la teneur en eau du sol est limitante, l'évapotranspiration de la culture est inférieure à ETM et à ETP_c , et l'on parle d'évapotranspiration réelle, ETR :

$$ETR \leq ETP_c \leq ETM = k_c \times ET_0$$

Pour un état hydrique donné du sol et une demande évaporative donnée de l'atmosphère, les parts relatives de l'évaporation et de la transpiration dans l' ETR dépendent principalement de la proportion de l'énergie radiative interceptée par le feuillage par rapport à celle qui parvient au sol, et donc de l'indice de surface foliaire.



► Figure 2. Coefficient culturel (K_c) en fonction du développement de la culture

● Ruissellement

Il peut être mesuré grâce à un dispositif recueillant les eaux de surface d'une certaine superficie, isolée du reste de la parcelle par des diguettes en tôle ou en matière plastique. Des mesures en continu sont possibles par pesée du récipient recevant l'eau ruisselée (cf. figure 3). Le ruissellement peut atteindre la moitié des précipitations. Il dépend non seulement de la pente de la parcelle mais aussi des propriétés physiques du sol (texture, rugosité de surface) et de l'intensité des pluies. Des ruissellements élevés sont en particulier possibles, même avec une pente très faible, sur sols battants avec des pluies intenses.



► Figure 3. Dispositif de mesure du ruissellement (d'après Scopel/Findeling)

● Drainage

Il peut être mesuré en lysimètres ou par la méthode tensio-neutronique. Ces deux méthodes sont décrites dans le paragraphe concernant le stock hydrique du sol, dont elles permettent une évaluation simultanée à celle du drainage.

Le drainage peut représenter une proportion élevée des précipitations, lorsque celles-ci sont abondantes par rapport aux besoins de la culture et à la capacité de stockage du sol. Il peut être très faible, voire nul, dans les situations arides. Il peut enfin être négatif, mais on parle alors de remontées capillaires, lorsqu'il existe une nappe d'eau à faible profondeur et que l'humidité du sol est faible en surface.

● Stock en eau du sol

Le stock en eau S du sol entre la surface et une cote/profondeur z est donné par :

$$S \text{ (mm)} = \sum_{i=0,z} (W_i \times e_i \times da_i) / 10 = \sum_{i=0,z} (H_i \times e_i) / 10, \text{ avec :}$$

W_i = teneur en eau pondérale (%) de la tranche de sol i
 H_i = teneur en eau volumique (%) de la tranche de sol i
 e_i = épaisseur de la tranche de sol i (cm)
 da_i = densité apparente de la tranche de sol i

Les plantes n'exploitent l'eau du sol qu'entre deux valeurs de S , qui définissent la réserve utile :

- > celle où le sol est à la teneur en eau en dessous de laquelle la culture ne parvient plus à transpirer et dite teneur en eau au point de flétrissement permanent, Spf , évaluée classiquement par la teneur en eau à $pF = 4,2$;
- > celle où le sol est à sa teneur en eau maximale au-delà de laquelle l'eau s'écoule par gravité, dite capacité au champ, Sc_c .

$$RU = Sc_c - Spf$$

La réserve utile des sols est très variable. Les ordres de grandeur les plus courants vont de 50 mm à 130 mm par mètre de sol. La texture a une grande influence sur la RU, à laquelle il est souvent possible de la relier par des relations empiriques de bonne qualité, quoique de portée spatiale limitée. La profondeur de sol colonisable par les racines est un facteur pouvant limiter la réserve utile, et dépend à la fois de l'espèce cultivée³, des techniques culturales, et des obstacles physiques et chimiques que le sol peut opposer à la croissance racinaire, tels qu'un horizon compacté, voire induré, ou un horizon présentant une toxicité aluminique. La réserve utile racinaire RU_r est la valeur de la RU obtenue lorsque Sc_c et Spf sont évalués entre la surface et la cote maximale atteinte par les racines pour la culture considérée.

³ Les profondeurs maximales atteintes peuvent varier chez les cultures annuelles entre 50 et 200 cm.

Le stock utile⁴ (Su)

C'est la quantité d'eau utilisable par la culture à un moment donné :

$$Su = S - Spf \text{ si } S < Scc,$$

$$Su = RU \text{ si } S > Scc$$

● Calcul du bilan hydrique

● Evaluation *in situ*

La méthode lysimétrique et la méthode tensio-neutronique, permettent de mesurer simultanément le drainage et la variation de stock du sol. Les apports d'eau des précipitations et irrigations étant connus et sous hypothèse de ruissellement nul, l'équation du bilan hydrique permet alors de calculer l'évapotranspiration.

● Les lysimètres⁵

Les lysimètres sont des volumes de sol isolés du reste d'une parcelle dans une cuve métallique ou en matière plastique, et traités de façon aussi proche que possible du sol environnant. Ils sont dotés d'un exutoire à leur base, par lequel sont recueillies les eaux de drainage. Lorsqu'ils sont munis d'un système de pesée, les variations du stock en conditions de teneur en eau limitante sont mesurées, et l'on dispose d'une évaluation de l'ETR. Il n'est en revanche pas indispensable de disposer d'un tel système de pesée pour évaluer l'ETPc ou l'ETM : il suffit d'apporter quotidiennement de l'eau en excès, en s'assurant de provoquer un drainage à chaque apport, ce qui garantit le retour du stock à Scc après ressuyage. La variation de stock d'un apport à l'autre est ainsi nulle.

● La méthode tensio-neutronique

La méthode tensio-neutronique faisait appel à la sonde à neutrons pour la mesure de l'humidité volumique du sol à des profondeurs régulièrement espacées, c'est-à-dire pour l'obtention de profils d'humidité du sol, dont l'intégration fournit le stock hydrique du sol à la date de la mesure. L'évaluation du flux de drainage⁶ fait appel pour sa part aux tensiomètres. Il s'agit de tubes plastiques équipés de céramique poreuse à une extrémité, placée dans le sol, et d'un système manométrique à l'extrémité restant en surface, qui mesure la pression matricielle de l'eau du sol. Plusieurs de ces appareils installés à différentes profondeurs fournissent ainsi le moyen de calculer les gradients de charge hydraulique entre ces différentes cotes.

Dans certains contextes où l'on peut faire l'hypothèse d'un drainage nul à une cote située sous la zone exploitée par les racines⁷, elle peut être en outre considérablement simplifiée car limitée à la mesure des profils hydriques à la sonde à neutrons.

4 Auquel peut correspondre un stock utile racinaire de la même façon que pour RU.

5 Cf. chapitre 412.

6 Négatif dans le cas de remontées capillaires.

7 C'est souvent le cas dans les régions tropicales semi-arides.

Enfin la sonde à neutrons pourra progressivement être remplacée par la technologie TDR (*Time-Domain Reflectometry*), il y a encore peu limitée à des mesures de l'humidité à un nombre réduit de profondeurs, mais qui pourrait donner accès à des profils d'humidité équivalents à ceux fournis par les sondes à neutrons, en un temps plus court et sans l'inconvénient de la radioactivité.

● Les modèles de simulation

Les modèles de simulation permettent :

- > de compléter des mesures, les simulations étant ajustées aux données observées. Les données simulées d'une variable servent ainsi à compléter des mesures de cette variable. L'ajustement du modèle aux données mesurées doit être de bonne qualité, garantissant que le modèle s'applique bien à la situation analysée ;
- > de remplacer des mesures. Il est alors indispensable de s'assurer au préalable de la validité du modèle employé pour le domaine où l'on souhaite l'appliquer.

Il existe une grande variété de modèles de simulation du bilan hydrique, plus ou moins complexes, plus ou moins précis et plus ou moins exigeants en paramètres d'entrée. Les modèles les plus pratiques pour des applications agronomiques à l'échelle régionale comme à l'échelle de la parcelle sont basés sur l'analogie entre le sol et un réservoir. Cette analogie leur confère, par rapport aux autres approches, une certaine robustesse et une moindre gourmandise en données d'entrées à mesurer. Les modèles de cette famille se distinguent principalement par le pas de temps de calcul, le nombre de couches de sol simulées, et la séparation ou non de l'ETR en évaporation et transpiration.

Les logiciels Sarra et Cropwat

L'un de ceux-ci, le modèle Sarra (système d'analyse régionale des risques agroclimatiques) a été mis au point par le CIRAD spécifiquement pour les cultures pluviales⁸ en régions tropicales. Il fonctionne au pas de temps journalier, ne sépare pas l'évaporation du sol de la transpiration de la culture, propose plusieurs options de simulation du ruissellement et considère un réservoir de taille variable en fonction de la progression des racines en profondeur.

Les données d'entrée sont la pluviométrie journalière ou décadaire, ET₀, les coefficients culturaux, la réserve utile du sol, les paramètres de la fonction de ruissellement et la vitesse de descente du front racinaire. Le calcul de l'ETR de la culture repose sur une relation empirique robuste entre le taux de remplissage de la réserve utile racinaire et le rapport ETR/ETM. Le ruissellement est soit un pourcentage fixe des précipitations au delà d'un seuil, soit une fonction plus sophistiquée mise au point spécifiquement pour les sols ferrugineux d'Afrique de l'Ouest. Le drainage se produit lorsque les apports d'eau⁹ excèdent la capacité de stockage du sol. Une fois qu'ont été ainsi calculés ETR, D, R, le stock final de chaque jour est actualisé en appliquant l'équation du bilan hydrique.

La FAO propose également un logiciel de simulation du bilan hydrique, plus spécifiquement orienté vers les systèmes irrigués, Cropwat.

8 Éventuellement avec irrigation de complément.

9 Pluie + irrigation – ruissellement.

● Les analyses fréquentielles

La forte variabilité inter-annuelle des précipitations en milieu tropical a pour conséquence une forte variabilité inter-annuelle des termes du bilan hydrique. L'information fournie par la mesure ou la simulation du bilan hydrique pour une année n'est pas suffisante pour évaluer les potentialités d'une localité ou pour raisonner la gestion technique d'une culture en fonction de la contrainte hydrique.

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique simple de caractérisation de distributions de variables. Elle s'applique particulièrement bien au cas de la distribution inter-annuelle des termes du bilan hydrique. Elle consiste à repérer les événements rares, moyennement fréquents et fréquents. Dans le cas d'une analyse portant sur la pluviométrie mensuelle, par exemple, on retiendra classiquement les valeurs rencontrées ou dépassées huit années sur dix, autrement dit le niveau de pluviométrie minimum qu'on peut attendre avec une probabilité de 0,8, les valeurs atteintes ou dépassées cinq années sur dix, et enfin deux années sur dix.

Par rapport à la caractérisation de la distribution par la moyenne et l'écart type, cette approche présente l'avantage de mieux décrire la forme de la distribution pour les valeurs extrêmes. Son emploi pour l'analyse des risques en agriculture est en outre associé à l'idée que les agriculteurs sont plus sensibles aux situations extrêmes, pouvant remettre définitivement en cause leur activité, qu'à la moyenne des situations.

Par exemple, si une année sur deux la sécheresse est très contraignante pour la production et qu'une année sur deux les conditions sont au contraire très favorables, la moyenne des conditions peut paraître acceptable, alors qu'elle ne l'est en réalité qu'à condition de disposer de mécanismes d'épargne permettant de faire face à une séquence de plusieurs années défavorables, ce qui est rarement le cas en agriculture.

Il est donc important de connaître avant tout le niveau de contrainte des situations les plus fréquentes. En ce sens, on applique généralement ces analyses fréquentielles, non pas seulement aux précipitations, bien que cela constitue déjà une première approximation des contraintes climatiques locales, mais surtout au taux de satisfaction des besoins en eau des cultures, le rapport ETR/ETM. Celui-ci est en effet une mesure classique du stress hydrique subi par les cultures. Ce rapport doit être calculé en individualisant les différentes phases de sensibilité au stress hydrique de l'espèce à laquelle on s'intéresse.

Sarrabil, Sarrazon et Sarramet

Sarrabil et Sarrazon réalisent typiquement ce type de calcul à partir de simulations répétées pour une série de plusieurs années de données climatiques d'une ou de plusieurs localités. Sarramet permet quant à lui des analyses fréquentielles des données climatiques telles que la pluie ou l'évapotranspiration potentielles, ces calculs pouvant également être réalisés très simplement à l'aide d'un tableur informatique, la plupart les intégrant parmi les fonctions statistiques standard¹⁰.

¹⁰ Calculs de rang et de percentiles d'une distribution.

LES MODES D'AMÉLIORATION DU BILAN HYDRIQUE

● *Le diagnostic et la réduction de la contrainte hydrique*

À l'échelle de la parcelle cultivée, les stratégies d'amélioration du bilan hydrique doivent rechercher un compromis entre les objectifs suivants :

- > maximiser le rapport entre transpiration réelle et transpiration potentielle des plantes pour les phases du cycle où la culture est le plus sensible au stress hydrique. Faute de pouvoir aisément séparer évaporation et transpiration, dans la plupart des cas, l'indicateur utilisé est ETR/ETM pour les différentes phases du cycle.
- > minimiser la durée des périodes où le sol est saturé pour les phases du cycle où la culture est le plus sensible à l'anoxie¹¹ dans la zone racinaire. Un indicateur souvent utilisé est le rapport D/RUR, qui rend compte cependant davantage de l'intensité du lessivage que de la durée des phases d'anoxie.

L'indicateur IRESP

Dans le cas des céréales tropicales (maïs, sorgho, mil, riz), on dispose d'un indicateur synthétique bien relié à la productivité lorsque le déficit hydrique est la contrainte prédominante, l'indicateur IRESP :

$IRESP = SAT_c \times SAT_{ps}$, où $SAT_c = ETR/ETM$ du cycle; $SAT_{ps} = ETR/ETM$ de la phase sexuée, généralement obtenu en prenant la valeur la plus faible de ETR/ETM entre les phases initiation florale-floraison et floraison-début de remplissage des grains.

Cette optimisation du bilan hydrique doit elle-même se combiner avec :

- > l'optimisation à l'échelle de la parcelle des autres facteurs agissant sur le rendement, nombre d'entre eux étant en interaction plus ou moins forte avec la contrainte hydrique : densité de peuplement, fertilité, mauvaises herbes, etc. ;
- > l'optimisation à l'échelle de l'exploitation des ressources en fonction de l'objectif et des contraintes de l'exploitant.

Ainsi, un objectif de gestion de la fertilité de la parcelle peut conduire à ajouter aux deux premiers critères ci-dessus, un critère de minimisation du drainage pour réduire les pertes en éléments minéraux. Une contrainte à l'échelle de l'exploitation, telle qu'une contrainte de trésorerie ou de main-d'œuvre, peut quant à elle imposer des bornes à la date de semis de la culture, à l'intérieur desquelles raisonner l'optimisation des deux premiers critères ci-dessus. Différents leviers permettent d'agir sur ces critères.

¹¹ Anoxie : absence d'oxygène.

● Choix de l'espèce et du cultivar

Ce choix influence les besoins en eau de la culture¹², sa sensibilité à la non satisfaction de ses besoins¹³ ainsi qu'à l'excès d'eau¹⁴ et interagit avec l'offre en eau du sol à travers la colonisation de ce dernier par les racines¹⁵ et le régime d'extraction de l'eau au cours de la saison de culture.

● Choix de la date de semis

Celui-ci conditionne l'interaction entre la répartition des pluies dans la saison et la demande en eau de la plante. L'évolution de la demande en eau des plantes au cours du temps à partir de la date de semis, décrite par les courbes de coefficient cultural, dépend du cultivar et du niveau des contraintes non hydriques, et peut aussi dépendre très fortement de la date de semis dans le cas de cultivars photopériodiques. Dans les régions à forte variabilité de la température¹⁶, cette dernière est un facteur supplémentaire de l'interaction entre date de semis et coefficients culturaux.

● Augmentation de la réserve utile racinaire (RUr)

Plus cette dernière est élevée, plus faibles seront les pertes en eau par drainage sous la zone de sol exploitée par la culture et plus longues seront les périodes que la culture pourra subir sans dommage entre deux pluies ou irrigations remplissant cette réserve. Le travail du sol, l'activité biologique et la fumure organique augmentent la capacité de stockage des sols dans des proportions variables selon le type de sol et le climat, mais toujours relativement peu par rapport à l'influence de la profondeur d'enracinement. Cette dernière est elle-même influencée par le choix de l'espèce, la fumure organique et le travail du sol, et plus généralement toutes les techniques amélioratrices du profil cultural.

Le climat interagit avec la profondeur d'enracinement dans les situations où le profil de sol est au point de flétrissement permanent en début de saison de culture. En effet, la descente en profondeur des racines est alors limitée par celle du front d'humectation du sol. En irrigation de complément, il peut ainsi être avantageux de pratiquer des irrigations à forte dose en début de cycle, de manière à favoriser une descente importante des racines et à disposer d'une capacité élevée de stockage pour des pluies survenant plus tard dans la saison. Il faut noter que la RUr, même faible, peut très bien ne pas être un facteur limitant si le régime des précipitations est tel qu'elle n'est jamais remplie.

Dans des situations où l'on n'observe jamais de drainage sous la zone racinaire, courantes en région semi-aride, des techniques ne visant qu'à augmenter la profondeur racinaire ou les propriétés de rétention d'eau du sol, sans agir sur l'infiltration ou l'évaporation, n'auront ainsi aucun effet sur le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture. En revanche, les régions sub-humides sont le domaine par excellence où cette voie d'amélioration du bilan hydrique doit être explorée, de manière à limiter au maximum les pertes d'éléments minéraux par lessivage et à réduire les effets de

¹² Coefficient cultural.

¹³ Relation entre ETR/ETM aux différentes phases et rendement.

¹⁴ Influence de D/RUr sur le rendement.

¹⁵ Modification de RUr.

¹⁶ Zones de montagne, marges de la région tropicale.

périodes sans précipitations de l'ordre de la semaine à dix jours qui peuvent, sous ces climats, s'intercaler entre des périodes de précipitations excédentaires.

● Réduction du ruissellement

Il s'agit certainement d'une des voies d'amélioration du bilan hydrique les plus significatives pour les régions tropicales semi-arides, où les pertes par ruissellement sont souvent importantes et peuvent atteindre 30 voire 50 % du total des précipitations de l'année.

Un moyen séduisant d'y parvenir est le semis direct sur mulch pailleux. De faibles quantités de résidus de culture, de l'ordre de 1 à 1,5 t/ha suffisent à réduire très significativement le ruissellement. Les résidus agissent principalement de deux manières : ils freinent l'écoulement superficiel, laissant plus de temps à l'eau pour s'infiltrer d'une part, et leur présence permet d'obtenir et de maintenir une conductivité hydraulique élevée à la surface du sol, grâce à l'activité de la macrofaune qu'ils favorisent d'autre part (cf. figure 4). Lorsque les résidus de culture sont employés pour l'élevage ou que le recours au semis direct impose l'emploi des herbicides, la technique peut toutefois se révéler délicate à intégrer aux systèmes de production existants.

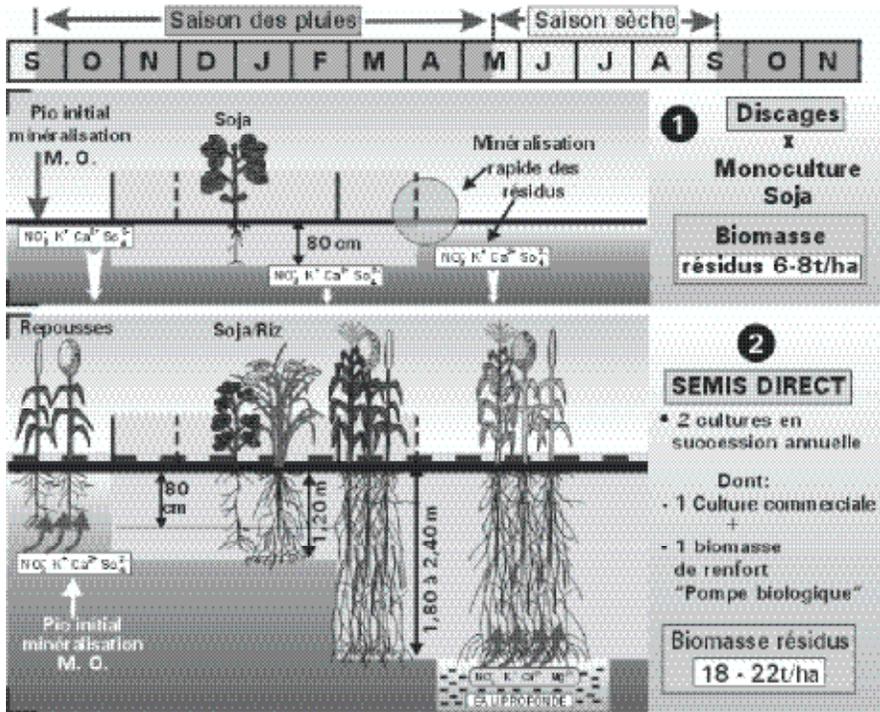


► Figure 4. Semis direct de niébé sur mulch pailleux (d'après M. Raunet)

Les techniques anti-ruissellement telles que la culture sur billons, éventuellement doisonnés, les diguettes en courbe de niveau, ou les aménagements plus lourds visant une réduction du ruissellement à l'échelle d'un bassin versant sont également recommandées.

Toutes ces techniques de réduction du ruissellement peuvent se justifier également dans les régions plus humides, pour un autre objectif que celui de l'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures, celui de la lutte contre l'érosion (cf. chapitre 233). Signalons cependant que dans ces situations, la diminution du ruissellement a

en général pour conséquence une augmentation du drainage, qui présente l'inconvénient d'augmenter les pertes en éléments nutritifs. L'introduction de plantes de couverture avant ou après la culture principale est alors envisageable, afin d'augmenter la part de l'eau évapotranspirée par rapport à l'eau drainée et de recycler les éléments minéraux entraînés vers les couches profondes du sol (cf. figure 5).



► Figure 5. Effet comparé du travail du sol et du semis direct sur couvertures végétales sur le bilan hydrique et minéral (d'après L. Séguy)

● Réduction de l'évaporation

Les mulch de divers types, en établissant une discontinuité entre les premières couches humides du sol et l'atmosphère, permettent de réduire l'évaporation. Dans le cas des mulch pailleux ou résultant d'un grattage superficiel du sol, l'effet sur l'évaporation est toutefois très inférieur à l'effet obtenu sur le ruissellement.

Tableau 1. Pertes par ruissellement et évaporation, avec et sans mulch pailleux (La Tijana, Mexique, 1995, pluviométrie totale: 355 mm, culture du maïs)

Type d'implantation	Ruissellement (mm)	Evaporation paillis (mm)	Evaporation sol (mm)	Total pertes (mm)
Semis direct sans mulch pailleux	125	0	89	214
Semis direct sur paillis avec 1,5 t/ha de paillis au semis	52	10	56	108
Semis direct sur paillis avec 4,5 t/ha de paillis au semis	41	29	35	105
Préparation traditionnelle du sol aux disques	94	0	103	197

Les brise-vents réduisent l'évaporation dans les régions où le facteur advectif a un poids important dans les valeurs de ET_0 , mais leur mise en œuvre est très délicate car la moindre brèche dans le dispositif peut provoquer des turbulences aux effets désastreux.

● Réduction de la transpiration

Compte tenu d'une très forte corrélation entre l'activité photosynthétique et la transpiration, réduire la transpiration de la plante cultivée se traduit par une réduction pratiquement proportionnelle de sa productivité. Cependant, il peut être tactiquement fondé de réduire en cours de cycle les besoins en eau de la culture et ainsi sa transpiration, par démariage ou suppression de plantes, voire taille du feuillage, en fonction des conditions hydriques rencontrées. Enfin, il est trivial que la transpiration provenant des adventices est nuisible et que la population adventice doit être la plus faible possible.

● L'irrigation et le drainage¹⁷

L'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique constitue un élément important pour le dimensionnement de systèmes d'irrigation et de drainage. Le suivi hydrique du sol, par mesure ou par simulation, constitue quant à lui un outil efficace de pilotage en temps réel des irrigations.

Ce suivi est particulièrement intéressant dans le contexte de l'irrigation de complément par aspersion, où le producteur dispose d'une marge de manœuvre importante pour les doses et les dates d'irrigation, et où une économie d'eau substantielle peut être réalisée en valorisant au mieux les précipitations naturelles. Il s'agit alors de maintenir, grâce aux irrigations, le stock en eau du sol entre une borne inférieure en dessous de laquelle le stress hydrique deviendrait très contraignants (50 % de la réserve utile totale est un ordre de grandeur raisonnable), et une borne supérieure au dessus de laquelle l'augmentation de la teneur en eau n'aurait qu'une faible influence sur la productivité (de l'ordre de 80 % de la réserve utile totale).

De cette manière, le sol est à tout moment capable de stocker au moins une partie des précipitations qui pourraient se produire, et l'on réduit ainsi les pertes par drainage. Il est également possible de faire varier les seuils de décision d'irrigation en fonction de probabilités d'événements pluvieux fournies soit par les services de prévision météorologique, soit par les analyses fréquentielles des pluies.

¹⁷ Ils sont traités en détail au chapitre 235.

DES EXEMPLES AU MALI ET AU SÉNÉGAL

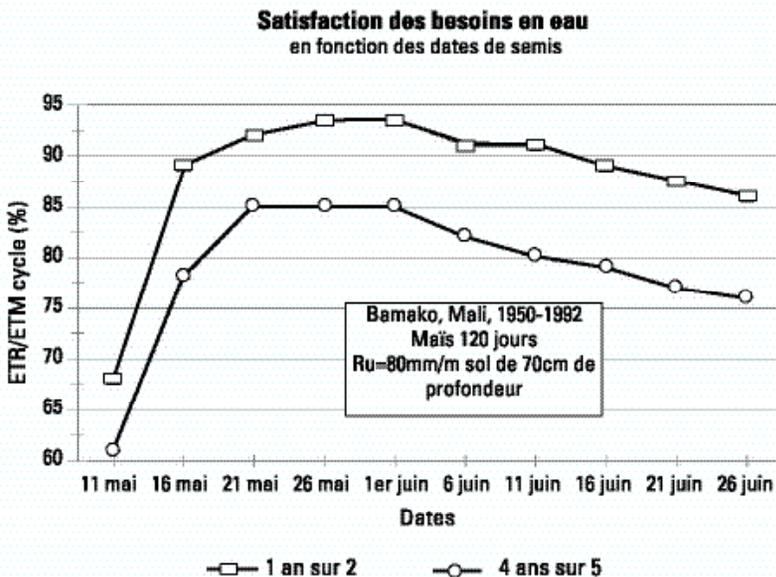
Choix de la date de semis optimale pour un cultivar de maïs de 120 jours dans la région de Bamako (Mali)

On a utilisé ici comme critère de contrainte hydrique le simple rapport ETR/ETM pour l'ensemble du cycle d'un maïs de cent vingt jours, simulé par le modèle Sarrabil. Dix dates de semis ont été testées, de cinq en cinq jours, entre le 11 mai et le 26 juin. On a pris l'hypothèse d'un sol ayant une réserve utile de 80 mm par mètre de sol, d'une profondeur maximale d'enracinement de 70 cm, et d'un ruissellement nul. Les coefficients culturaux étaient ceux fournis par la FAO. Les évapotranspirations potentielles décennales moyennes de la station de Bamako étaient utilisées, ainsi qu'une série de 43 années de données pluviométriques journalières de la même station, de 1950 à 1992. Chaque date de semis a été simulée pour chacune de ces années, soit $43 \times 10 = 430$ simulations, puis une analyse fréquentielle a été conduite sur le terme ETR/ETM cycle.

Les résultats sont donnés à la figure 6. Ils montrent que la variable ETR/ETM passe par un maximum entre le 21 mai et le 1^{er} juin. On en déduit que c'est la date de semis la plus favorable pour la variété choisie, pour la région de Bamako, sous l'angle strict de l'alimentation hydrique. En dehors de ces périodes, on prend un risque plus élevé de rencontrer :

- des problèmes de manque d'eau pendant la phase d'établissement de la culture en cas de semis trop précoce ;
- des problèmes de manque d'eau pendant les phases de remplissage du grain (voire pendant la phase de floraison) en cas de semis trop tardif.

Cependant, la méthode ne tient pas compte de l'ensemble des facteurs biophysiques qui conditionnent en réalité la réussite d'une culture (mauvaises herbes, fertilité, ravageurs...), ni les contraintes économiques telles que la disponibilité en trésorerie et en main d'œuvre qui s'exercent sur les chantiers de mise en culture. Elle fournit simplement une information détaillée sur l'interaction entre la date de semis et la contrainte hydrique, supposée être une contrainte particulièrement déterminante dans la région considérée, information à croiser avec des informations portant sur les autres contraintes afin de fournir un conseil pertinent aux agriculteurs.



► Figure 6. Détermination de la date de semis optimale du maïs (d'après M. Vasksmann et al.)

Choix du cultivar de mil au Mali : intérêt comparé de cultivars photosensibles et non photosensibles

Trois types de comportement phénologiques de variétés de mil ont été comparés du point de vue de la contrainte hydrique et des ses conséquences sur le rendement, pour une localité située en zone sahélienne (Bankass, Mali, 14° 04' N ; 3° 31' W). Il s'agissait de variétés dont la durée des stades phénologiques, en fonction de leur date de semis, avait été déterminée grâce à des essais et pouvait être décrite de manière simplifiée comme suit :

- les durées des phases post-épiaison sont approximativement constantes pour toutes les variétés ;
- pour une variété dite non photosensible, Souna, la durée du cycle et de la phase semis-épiaison sont à peu près constantes quelle que soit la date de semis (respectivement 90 jours et 45 jours environ) ;
- pour la variété Sanio, photosensible et tardive, la durée semis-épiaison devient plus courte quand la date de semis devient plus tardive, jusqu'à une date de semis limite au-delà de laquelle cette durée devient peu variable, de l'ordre de 60 jours ;
- pour une variété locale, NKK, photosensible et plus précoce, l'effet de la photopériode est comparable à la précédente mais la durée semis-épiaison « minimum » est de l'ordre de 45 jours, la date de semis à partir de laquelle cette durée « minimum » est atteinte étant plus précoce que pour la variété Sanio.

Des simulations du bilan hydrique de ces variétés ont été conduites pour 39 années de données pluviométriques, de 1950 à 1988, pour un sol ayant 90 mm de réserve utile (sol sableux profond), et en négligeant le ruissellement. La date de semis a été déterminée pour chaque année en simulant la pratique traditionnelle des agriculteurs de la région, qui est de semer sur la première pluie de la saison. En cas de période sèche suivant les premières pluies, il était considéré un nouveau semis à la pluie suivante. Le rendement était ensuite estimé en appliquant une relation empirique entre l'indicateur IRESP, défini plus haut, et le rendement, relation établie à l'aide d'une importante base de données sur les productivités du mil en parcelles de producteurs dans l'ensemble de la région sahélienne¹⁸.

Tableau 2. Rendements simulés des différentes variétés, en moyenne des 39 années, ainsi que leur écart-type interannuel

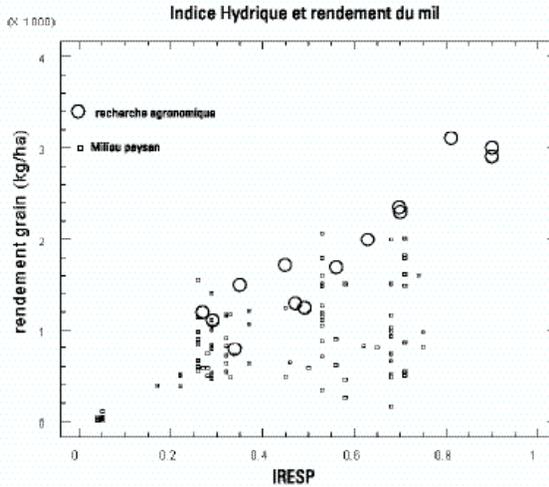
Variété	Souna	NKK	Sanio
Rendement moyen (kg/ha)	902	955	661
Ecart type (kg/ha)	169	102	153

Il ressort que la variété la mieux adaptée à la région est la variété locale NKK : elle se distingue de la Sanio par un rendement moyen supérieur, et de la Souna, dont le rendement moyen est équivalent, par une moindre variabilité inter-annuelle de la productivité.

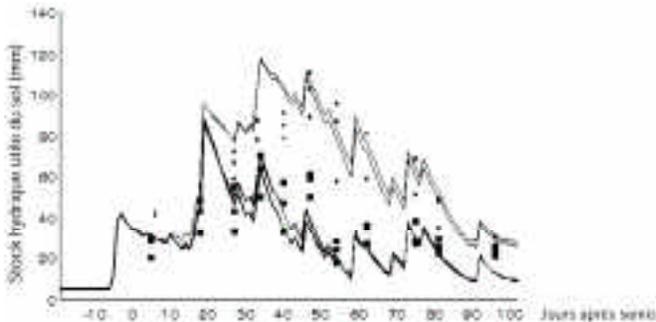
Diagnostic des contraintes hydriques et intensification de la culture du mil dans le bassin arachidier du Sénégal

Une étude des rendements du mil dans le bassin arachidier du Sénégal a montré que le facteur hydrique, bien qu'expliquant une part significative de la variabilité des rendements, n'est pas le seul facteur en cause. La gestion de la culture peut être considérée comme extensive dans de nombreux cas, au sens où elle ne valorise qu'incomplètement la ressource la plus rare (cf. figure 7).

Mais l'intensification de la culture présente un risque important dans certaines régions. Par exemple, une culture fertilisée, qu'il s'agisse de fumure organique ou d'apports minéraux, consomme davantage d'eau qu'une culture non fertilisée, de telle sorte qu'elle peut être amenée certaines années à subir un stress hydrique plus important et que son rendement final ne soit pas augmenté (cf. figure 8). À l'aide d'un modèle simple de simulation de l'interaction entre bilan hydrique et niveau d'intensification de la culture, il a été montré que la probabilité qu'une telle situation se produise est très variable suivant la région et selon qu'on maîtrise ou non le ruissellement. Les possibilités d'intensification sont donc très variables dans l'espace, et les techniques intensives agissant sur la demande en eau de la culture, telle que la fertilisation, doivent être raisonnées en tenant compte de ce risque et associées à des techniques susceptibles d'augmenter l'offre en eau du sol, telles que la lutte contre les adventices et contre le ruissellement.



➤ Figure 7. Rendements de mil observés en milieu paysan en fonction de l'indicateur de contrainte hydrique, IRESP (d'après F. Affholder et al.)



➤ Figure 8. Evolution comparée des stocks hydriques sous culture de mil au centre du Sénégal avec (figurés épais) et sans (figurés fins) fumure (d'après F. Affholder)

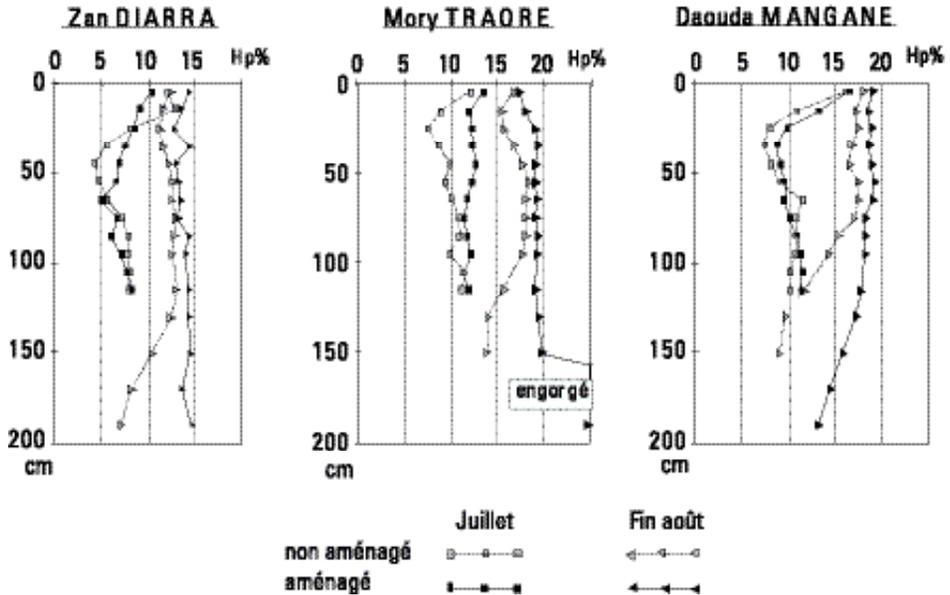
Maîtrise du ruissellement et intensification au sud Mali

La technique de culture sur billons de niveau a été proposée avec succès chez les agriculteurs du sud Mali. Elle permet à la fois de favoriser l'infiltration des pluies dans les sillons inter-billons et d'évacuer lentement les excès d'eau aux extrémités des billons, sur les bords de champ plus ou moins enherbés. Il s'agit d'un aménagement qui s'applique à l'échelle d'un champ cultivé individuel (cf. figure 9). En l'absence d'aménagement, les pertes d'eau par ruissellement peuvent atteindre et même dépasser 30% des précipitations. Ces pertes n'atteignent plus que 5 à 10 % des pluies lorsque cette technique est employée. Les années où les précipitations sont contraignantes, et si les autres facteurs limitants sont maîtrisés, cet aménagement léger conduit à des gains de rendements de l'ordre de 30 %, pouvant atteindre jusqu'à 60 %.



► Figure 9. Confection d'un ados de niveau à la charrue à bœufs et finition à la daba (d'après J. Gigou)

Ainsi, en réduisant sensiblement la contrainte hydrique, la technique permet une réduction de la variabilité inter-annuelle des productivités et rend possible l'intensification par le recours aux fertilisants. La méthode permet également des semis plus précoces et des levées plus homogènes, grâce à une plus grande humidité du sol en début de cycle. L'augmentation de la quantité d'eau infiltrée à l'échelle de la saison de culture favorise enfin l'alimentation hydrique de saison sèche d'espèces ligneuses associées aux cultures (cf. figure 10).



► Figure 10. Augmentation de l'humidité du sol par l'aménagement en courbes de niveau (moyenne de trois profils). Mesures en juillet et août 1999. L'aménagement favorise le stockage de l'eau en profondeur. Cette réserve servira pendant la saison sèche aux arbres associés aux cultures (d'après J. Gigou)

Les billons doivent suivre les courbes de niveau, faute de quoi l'eau s'accumule dans les points bas et des départs d'érosion en rigole ou ravine sont à craindre. La méthode est facilement praticable en culture attelée, soit que l'on sème à la main sur des billons, soit que l'on sème au semoir sur un labour à plat, en suivant bien les courbes de niveau, puis que l'on butte les cultures après quelques semaines. L'aménagement consiste à réaliser un gros ados par 2 à 5 passages aller-retour à la charrue à bœufs, que l'on laisse s'enherber ou que l'on recouvre de plantes pérennes. Cette méthode est beaucoup moins coûteuse que le transport de cailloux exigés par la technique des cordons pierreux. Il faut une intervention extérieure pour piqueter les courbes de niveau.

Ceci peut être réalisé avec des moyens de topographie simple, comme le niveau à eau formé d'un tuyau de plastique transparent de 10 m de longueur, rempli d'eau et fixé à des règles graduées aux deux extrémités. Il est cependant souvent plus simple et plus rapide d'utiliser des moyens plus classiques, tel qu'un niveau de chantier à lunette : un modèle bas de gamme suffit. Au Mali, des ONG proposent ce service pour un prix modeste, 5 000 FCFA/ha, qui suffit pour couvrir le prix de revient. La prise en charge de cette dépense par les agriculteurs, dans la région où cette technique a été proposée, témoigne de l'avantage économique qu'elle procure.

Bibliographie

- AFFHOLDER F., REYNIERS F.N., SCOPEL E. (1994). *L'eau et l'activité agricole : diagnostic et modélisation du fonctionnement de quelques hydrosystèmes agricoles tropicaux*. Actes du Symposium international recherches-système en agriculture pour le développement – CIRAD, Montpellier, p. 411 - 419
- BARON C., REYNIERS F.N., CLOPES A., FOREST F. (1999). *Applications du logiciel Sarra à l'étude des risques climatiques* - AGRIDEV, p. 89 - 97
- DANCETTE C., (1983). *Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne*. Agro Trop. 38, p. 281 - 92
- SCOPEL E. (1999). *Le semis direct avec paillis de résidus dans l'ouest mexicain : une histoire d'eau ?* Agriculture et développement 21, p. 71 - 86.
- TOUMA J., PEREZ P. & TODOROFF P. (1999). *Caractérisation hydrodynamique d'un sol encroûté en zone sahélienne*. Modélisation du processus d'infiltration. Agronomie 19, p. 341 - 348.

La lutte contre les mauvaises herbes

À partir d'une contribution de T. Le Bourgeois (CIRAD)
et P. Marnotte (CIRAD)

LES MAUVAISES HERBES

La lutte contre les mauvaises herbes, ou plutôt la gestion à long terme de l'enherbement d'une parcelle dans un contexte agroécologique donné, représente l'un des principaux enjeux permettant la durabilité des systèmes de production. La mise en place de cette gestion nécessite une connaissance approfondie de ces enherbements, notamment de leur composition floristique, de leur diversité spécifique, et de l'écologie et la biologie des espèces qui les composent. Cette démarche permet de connaître de façon précise les organismes contre lesquels il faut lutter et les facteurs écologiques et agronomiques qui vont influencer leur développement. Ainsi, il devient possible d'agir sur ces facteurs pour maintenir les communautés de mauvaises herbes en dessous d'un seuil de nuisibilité globale.

● Une définition délicate

Mauvaises herbes et *adventices* en français, *weeds* en anglais et *unkraut* en allemand sont peut-être les termes les plus importants de la malherbologie. Cependant leur définition pose des difficultés insurmontables. Si le terme adventice a un sens écologique (plante introduite accidentellement dans des milieux modifiés par l'homme), le terme mauvaise herbe a un sens malherbologique (plante indésirable là où elle se trouve)¹. Les termes anglais et allemand, eux, véhiculent les deux notions.

Même en français, le terme de *mauvaise herbe* n'est pas toujours satisfaisant. En effet, la définition de l'AFNOR peut susciter des ambiguïtés dans sa compréhension. Aussi, il est nécessaire de préciser que le statut de *mauvaise herbe* ne devrait être attribué qu'à une plante installée postérieurement à une activité humaine et ayant un effet nuisible direct ou indirect.

Cette notion de *mauvaise* n'a pas une valeur absolue et certains auteurs, de façon plus objective, qualifient les *mauvaises herbes* d'éléments *commensaux* du cultivar, sans préjuger d'un effet positif ou négatif. Pour d'autres, il s'agit de plantes plus nuisibles qu'utiles, même si un effet bénéfique leur est reconnu : diminution de l'érosion du sol, fertilisation, intérêt médicinal ou alimentaire, etc.

¹ AFNOR.

D'ailleurs, dans les agrosystèmes traditionnels, au Mexique par exemple, les agriculteurs maintiennent en association avec la culture certaines espèces qu'ils appellent *buen monte* (bonnes plantes) et n'éliminent que les *mal monte* (mauvaises plantes). En effet, dans de nombreux systèmes traditionnels en région tropicale, différentes *mauvaises herbes* sont maintenues dans les champs et utilisées à des fins diverses : nourriture, médecine, cérémonies religieuses, amélioration du sol, limitation de l'érosion, apport de matière organique...

Aussi le terme général de *mauvaise herbe*, utilisé en français pour nommer les espèces végétales croissant dans les parcelles cultivées sans y avoir été intentionnellement plantées est assurément peu adéquat, mais la langue française n'en possède pas encore d'autre. D'une façon générale, le terme de mauvaise herbe peut être utilisé pour désigner l'ensemble des espèces appartenant à la flore des parcelles cultivées, sans préjuger de leur action sur la culture, même si certains définissent les mauvaises herbes comme des plantes dont on n'a pas encore trouvé d'utilité.

● **Biologie et écologie des mauvaises herbes**

Toute plante n'est pas mauvaise herbe. La capacité d'une espèce à devenir une mauvaise herbe ou une plante envahissante, dépend d'un certain nombre de caractères adaptatifs de l'espèce par rapport au contexte agricole.

● **Les caractères d'adaptation aux pratiques culturales**

- > ressemblance morphologique ou physiologique avec les plantes cultivées :
 - *plantes mimantes* : pas ou peu distinguables de la culture, surtout au stade jeune (les riz adventices en riziculture irriguée) ;
 - *plantes tolérantes ou résistantes aux herbicides* (*Euphorbia heterophylla* ou *Commelina benghalensis* en culture cotonnière) ;
- > maturité des grains synchrone de la récolte (riz adventices ou *Rottboellia cochinchinensis* en riziculture) ;
- > dormance des graines et longévité dans le sol (les graines de *Striga hermonthica* peuvent rester viables vingt ans dans le sol) ;
- > polymorphisme des graines et des besoins germinatifs (*Commelina benghalensis* produit quatre types de graines ayant des niveaux de dormance différents) ;
- > germination discontinue pendant de longues périodes (la germination des graines d'*Ipomoea eriocarpa* est possible tout au long de la saison des pluies) ;
- > dormance induite/innée (en région soudano-sahélienne, les graines de *Cucumis melo* ne germent que de mai à juillet quelles que soient les conditions expérimentales) ;
- > adaptation aux travaux culturaux :
 - *multiplication* à partir de rhizomes ou autres propagules végétatives, favorisée par le travail du sol, notamment le labour aux disques (*Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*) ;
 - *redémarrage* par bouturage à partir des andains de sarclage (*Commelina benghalensis*, *Portulaca oleracea*).

● Les caractères d'adaptation liés à la phase reproductive

- > système de fécondation généralement auto-compatible (*Commelina benghalensis* possède des fleurs aériennes auto ou allogames et des fleurs souterraines cleistogames);
- > pollinisation par le vent ou des insectes généralistes (Poaceae, Asteraceae...)
- > production de graines importante en conditions favorables, mais également possible en condition de stress (de façon limitée) (cf. tableau 1) ;
- > cumul de plusieurs types de reproduction (*Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica* : graines et rhizomes ; *Portulaca oleracea*, *Commelina benghalensis* : graines et boutures).

Tableau 1. Production de graines de quelques espèces de mauvaises herbes

Espèce	Nombre de graines par plante
<i>Bidens pilosa</i>	3 000 - 6 000
<i>Digitaria horizontalis</i>	12 000
<i>Ageratum conyzoides</i>	40 000
<i>Echinochloa colona</i>	42 000
<i>Striga hermonthica</i>	40 000 – 100 000
<i>Eleusine indica</i>	50 000 – 135 000
<i>Amaranthus spinosus</i>	235 000

● Les adaptations liées à la physiologie, la croissance et la compétition

- > croissance rapide au stade plantule (*Rottboellia cochinchinensis*) ;
- > taux de photosynthèse élevé ;
- > développement rapide du système racinaire ;
- > allocation rapide des photosynthétats vers de nouvelles surfaces foliaires ;
- > arrivée précoce en phase de reproduction (*Euphorbia heterophylla* peut produire des graines quatre semaines après germination) ;
- > armes spéciales pour la compétition : nitrophilie (*Amaranthus spinosus*, *Eleusine indica*) ; port couvrant (*Commelina benghalensis*) ; allélopathie (*Cucumis melo*, *Tithonia diversifolia*) ;
- > indépendance vis-à-vis des contraintes environnementales : forte capacité d'acclimatation à des conditions variables (plasticité phénotypique et génotypique).

● Biologie des mauvaises herbes, enherbement et désherbage

Seules les espèces possédant des types *bionomiques*², compatibles avec les contraintes du milieu cultural particulier, seront susceptibles d'acquérir le statut de *mauvaise herbe*. C'est pourquoi l'étude d'une mauvaise herbe particulièrement envahissante doit porter sur l'analyse de sa stratégie biologique. Il s'agit de comprendre l'ensemble des caractères qui lui confèrent cette capacité d'adaptation et d'envahissement dans un contexte agroécologique donné.

2 C'est-à-dire un ensemble de caractères biologiques, démographiques, génétiques coadaptés, régis par les lois de la sélection naturelle.

La gestion raisonnée de l'enherbement à long terme passe par la compréhension des processus de développement de la flore des parcelles et d'évolution de cette flore en fonction des facteurs agroécologiques. Cette compréhension peut être acquise à travers une analyse phyto-écologique en milieu réel, précisant l'effet des facteurs écologiques et agronomiques sur la distribution, le développement et l'abondance des espèces. Cette analyse globale doit être complétée par une étude analytique des espèces ayant un rôle agronomique majeur, décrivant la stratégie biologique de ces espèces en fonction des itinéraires culturaux utilisés. La synthèse de ces approches permet ensuite d'intervenir sur le ou les éléments du système de production favorisant le développement de telle ou telle espèce particulièrement indésirable.

Des études phyto-écologiques réalisées sur les enherbements en zone tropicale, il ressort que la présence des espèces est principalement liée à la nature physico-chimique du sol et à son humidité. Seules les plantes parasites sont strictement inféodées à un hôte. Au cours des années suivant la mise en culture de la parcelle, la composition de la flore évolue. Les toutes premières années, la flore est composée d'espèces issues du milieu naturel, peu compétitives, nécessitant peu d'action de désherbage, mais également peu adaptées biologiquement aux perturbations répétées du milieu agricole. Rapidement cette flore est remplacée par des espèces biologiquement mieux adaptées au contexte agricole et qui, au cours du temps, deviennent de plus en plus abondantes.

Ces nouvelles espèces sont apportées dans les parcelles par les semences contaminées, les outils, les animaux³, l'eau d'irrigation, le vent... Les pratiques culturales, en fonction de leur degré d'intensification⁴, influent sur la rapidité d'évolution de la flore et de sélection des espèces les plus adaptées au contexte. En quelques années apparaissent des enherbements quasiment monospécifiques, contre lesquels les agriculteurs n'ont plus aucun moyen de lutte dans le cadre des itinéraires classiques.

Exemple d'enherbement monospécifique

L'utilisation répétée d'herbicides de pré-levée du cotonnier, combinée à un labour au moment du semis et à l'utilisation d'engrais, a favorisé le développement d'espèces comme *Euphorbia heterophylla* en Côte d'Ivoire ou *Commelina benghalensis* au Cameroun. En quelques années, ces espèces sont devenues totalement dominantes. La préconisation d'un labour précoce (quatre à cinq semaines avant le semis) provoquant une levée massive de *C. benghalensis*, suivi de l'épandage d'un herbicide total au moment du semis, sans autre travail du sol, a permis de passer de quatre sarclages avec évacuation du champ à un seul sarclage.

Au cours d'une saison culturale, on peut également observer une évolution de la composition floristique de la parcelle ou de l'abondance des espèces. Les espèces de début de cycle ne sont pas les mêmes que celles de fin de cycle ou ont une abondance différente. Aussi l'étude de l'enherbement doit-elle prendre en compte à la fois les espèces de début de cycle et celles de fin de cycle.

³ Notamment lors du pâturage de fin de cycle.

⁴ Travail du sol, engrais, herbicides...

Les premières sont responsables de l'essentiel de la compétition vis-à-vis de la culture, tandis que les secondes agissent sur la pénibilité du travail de récolte, la dépréciation qualitative de la récolte et l'augmentation du stock semencier du sol. C'est pourquoi l'élaboration d'une démarche de gestion raisonnée de l'enherbement doit tenir compte de différents seuils de nuisibilité :

- > *nuisibilité biologique directe* : compétition avec la culture et baisse de rendement ;
- > *nuisibilité indirecte* : dépréciation de la récolte ou augmentation de la pénibilité du travail ;
- > *nuisibilité écologique locale* : gestion du flux du stock semencier du sol de la parcelle ;
- > *nuisibilité écologique régionale* : diffusion possible d'une espèce nouvellement introduite à l'ensemble de la région.

La mise en œuvre d'une action de désherbage doit être décidée en comparant le coût du désherbage avec le gain apporté par cette action sur le rendement, la qualité de la production, la culture subséquente, le maintien du potentiel de la parcelle et la préservation de l'environnement.

● **Les mauvaises herbes et leur identification**

L'étude du fonctionnement des communautés végétales dans les agrosystèmes nécessite en premier lieu d'identifier de façon précise les espèces concernées. L'identification des mauvaises herbes par les agronomes se heurte à quatre contraintes majeures :

- > les plantes doivent être identifiées dès le stade végétatif, or les flores classiques utilisent le principe de classification linéenne basé sur la structure florale ;
- > l'utilisation des clés dichotomiques oblige à répondre à un grand nombre de questions selon un cheminement imposé par l'organisation de la clé. Lorsqu'une question porte sur un caractère absent de l'échantillon, il n'est pas possible de poursuivre l'identification ;
- > une erreur de réponse à une question n'est pas tolérée lors de l'utilisation de ces clés. L'utilisateur ne s'en rend compte qu'au moment où il parvient à une question ne correspondant pas à l'échantillon. Pour autant, il ne sait pas à quel moment l'erreur a eu lieu. Il doit donc reprendre la démarche depuis la première question de la clé ;
- > les questions des clés d'identification utilisent un grand nombre de termes techniques, pas toujours connus des non-botanistes. Cela rend leur utilisation difficile, notamment lorsqu'il faut manipuler ces termes dans différentes langues.

Quelques flores des zones tropicales

Pour les zones tropicales, différents outils d'identification existent, plus ou moins performants et faciles d'utilisation.

En Afrique de l'Ouest, seule la *Flora of West Tropical Africa* est complète du point de vue systématique, mais elle ne permet pas d'identifier les plantes sans fleurs et elle est en anglais.

D'autres flores régionales ou nationales sont incomplètes, toutes les familles n'étant pas traitées. Pour certaines, l'édition est inachevée⁵. D'autres sont toujours en cours d'édition⁶. Pour d'autres encore, seule une famille est traitée⁷.

La *Flore du Sénégal* présente l'avantage de posséder une clé d'identification portant d'abord sur des caractères végétatifs, permettant d'identifier ou d'approcher l'identification d'échantillons non fleuris.

Certaines flores ne comportent qu'une clé d'identification, tandis que d'autres comprennent également une description botanique complète de chaque espèce. C'est généralement le cas pour les flores nationales.

Certains ouvrages portent spécifiquement sur les mauvaises herbes d'une région ou d'une culture. Ainsi on peut trouver :

- > des plaquettes portant sur vingt à cinquante espèces comportant une photographie ou un dessin et une description sommaire des plantes⁸. Les illustrations de ces plaquettes et les descriptions sont parfois insuffisamment précises pour permettre une bonne identification ;
- > des manuels plus complets, portant sur un plus grand nombre d'espèces⁹. Dans ce type d'ouvrage, les descriptions sont souvent précises et bien illustrées (photographies ou planches botaniques), mais il n'y a pas de système d'identification. Il est donc nécessaire d'avoir une idée de la plante recherchée.

Certains manuels comportent un système d'identification par clé dichotomique¹⁰ ou par clé graphique¹¹. Ces clés graphiques portent principalement sur des caractères végétatifs et permettent d'identifier des plantes sans fleur. Elles sont compréhensibles par des non-spécialistes car elles utilisent des dessins sans terminologie technique.

La mise au point récente de cédéroms d'aide à l'identification et de description des mauvaises herbes tropicales¹² permet de pallier la plupart des contraintes des flores classiques pour la majorité des utilisateurs. Ces outils permettent une identification des plantes à partir d'un portrait robot. Cette méthode présente plusieurs avantages :

- > elle n'utilise que des dessins, sans terminologie technique ;
- > elle laisse à l'utilisateur le choix des caractères à décrire ;

5 Flore du Cameroun, Flore du Congo.

6 *Flora of Tropical East Africa*, Flore du Zambèze, Flore des Mascareignes, *Flora of Thailand*.

7 Flore des Poaceae du Niger, Flore des Poaceae de Côte d'Ivoire, Flore agrostologique de Madagascar.

8 *Field guide to important arable weeds of Zambia*, Les principales adventices de la canne à La Réunion, Guide des principales adventices des cultures maraîchères de Nouvelle-Calédonie.

9 Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest, Adventrop : les adventices d'Afrique soudano-sahéliennes, *Weeds of soybean field in Thailand*, *Weeds of rice in Indonesia*, *Plantas infestantes e nocivas-Brasil*.

10 *Manual of ricefield weeds in the Philippines*.

11 Adventices tropicales, AdvenRun : principales mauvaises herbes de La Réunion.

12 Adventrop : les adventices d'Afrique soudano-sahélienne ; AdvenRun : les principales mauvaises herbes de La Réunion.

- > elle tolère le manque d'information, donc permet l'identification d'échantillons incomplets ;
- > elle tolère les erreurs d'observations.

À chaque étape de l'identification, une probabilité de vraisemblance est calculée pour chaque espèce. Les espèces sont alors triées par ordre décroissant de vraisemblance. À tout moment, il est possible d'accéder à la fiche de l'espèce qui comporte des photographies, une planche botanique et des textes descriptifs botaniques et écologiques. Tous les termes techniques utilisés dans les textes sont gérés en hypertexte, qui fait appel aux définitions illustrées du glossaire.

Ces cédéroms sont couplés à des manuels de terrain et constituent des outils de travail, mais aussi d'enseignement et de formation, très intéressants et faciles d'utilisation pour les étudiants, les techniciens, les agents de développement, les agronomes et les malherbologues.

Tous ces outils sont complémentaires et le choix de l'un ou l'autre dépendra de leur disponibilité pour une zone d'étude donnée et de l'utilisateur concerné.

● **Les contraintes dues à l'enherbement**

Les mauvaises herbes constituent l'une des principales contraintes biologiques qui affectent la production alimentaire mondiale et plus particulièrement celle des pays en voie de développement. C'est en effet en zone tropicale que l'estimation des pertes de production est la plus élevée, avec 25 % contre 5 % dans les pays développés. Déjà, en 1967, la première analyse sur les pertes mondiales de production dues aux mauvaises herbes montrait qu'en Afrique ces pertes étaient de l'ordre de 10 à 56 %.

● **Les pertes de production**

En premier lieu, les mauvaises herbes peuvent avoir un effet négatif direct par compétition avec la culture vis-à-vis des éléments nécessaires à la croissance : eau, nutriments, lumière, espace de développement. Cette compétition est d'autant plus importante en début de cycle qu'aux premiers stades de développement les mauvaises herbes absorbent plus vite les nutriments que la culture. De nombreuses estimations de perte de production ont été recensées pour les cultures tropicales.

Estimations de pertes de production

Les pertes en culture cotonnière en Afrique sont évaluées à 35 % si les mauvaises herbes ne sont pas contrôlées pendant le premier mois après le semis. Elles peuvent s'élever à 90 % dans le cas d'une compétition avec *Cyperus rotundus* en culture irriguée, au Soudan.

Au Togo, une culture de maïs sarclée à deux reprises présente des pertes de rendement de 15 %, tandis que la même culture non sarclée accuse 85 % de pertes.

En culture d'arachide pluviale au Soudan, des pertes de 63 à 88 % peuvent être enregistrées.

En Asie, les pertes de rendement en riz pluvial peuvent varier entre 40 et 100 %, si l'enherbement n'est pas correctement géré entre 40 et 60 jours après semis.

Toutes ces valeurs ne sont qu'indicatives. En effet, une même culture peut réagir différemment à la compétition des mauvaises herbes en fonction des conditions écologiques du site et des conditions climatologiques de l'année. De même, l'importance de la compétition varie en fonction des espèces dominantes de la flore adventice et de la culture considérée. Cette compétition sera d'autant plus importante et préjudiciable à la culture, que les conditions de milieu sont limitantes : faible disponibilité en eau en période sèche ou en nutriments dans les sols dégradés.

Le parasitisme

Un cas particulier de dégât direct occasionné par les mauvaises herbes est le parasitisme. Le principal problème dans ce domaine, en zone tropicale, est dû au genre *Striga* et plus particulièrement à trois espèces de ce genre : *S. hermonthica*, *S. lutea*, *S. gesnerioides*. En Afrique, le genre *Striga* est présent dans 40 % des terres arables sub-sahariennes et occasionne des pertes moyennes de production céréalière (maïs, sorgho, mil) de 48 %. *S. asiatica* induit des pertes de récolte en maïs de 15 à 65 %, tandis que les pertes de production de sorgho dues à *S. hermonthica* au Nigeria s'échelonnent entre 10 et 90 %. Globalement, les attaques de *Striga* en Afrique étaient évaluées en 1991 à une perte directe de revenus estimée à 2,9 milliards \$US.

Les phénomènes d'allélopathie¹³ entre les mauvaises herbes et les cultures interviennent également dans les pertes de rendement. Cependant, ils sont rarement différenciés des phénomènes de compétition car au champ il est impossible de dissocier les deux mécanismes. Différentes espèces sont reconnues pour avoir un effet allélopathique sur les cultures. Par exemple, *Cyperus esculentus* a un effet dépressif sur le maïs et le soja, par émission de substances allélopathiques.

Les mauvaises herbes peuvent également jouer un rôle négatif indirect sur la production agricole. La présence de semences ou de débris végétaux peut réduire la qualité de la récolte et en diminuer la valeur commerciale. La présence de graines de *Rottboellia cochinchinensis* dans une récolte de maïs ou de riz en réduit le prix de vente ou peut empêcher son utilisation pour la semence. D'autre part, les mauvaises herbes peuvent servir d'hôtes secondaires pour différents ravageurs des cultures, insectes ou maladies. Au Soudan, une cinquantaine de mauvaises herbes donnent refuge à *Bemisia tabaci*, ravageur du cotonnier.

● Un coût élevé en temps de travail

La lutte contre les mauvaises herbes représente également un coût très important, notamment en temps de travail.

¹³ L'allélopathie correspond à l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant à leur voisinage ou leur succédant sur le même terrain.

Calcul de temps de travail au Togo

Le sarclage et le buttage de la culture cotonnière représentent 18 à 42 % du temps total consacré à la culture. Ce temps varie beaucoup en fonction de l'âge de la parcelle et du nombre de sarclages effectués. De même, le temps de sarclage varie de 10 à 16 j/ha en fonction du degré d'enherbement. Les observations faites au Togo depuis 1982 montrent que le nombre de sarclages n'augmente pas de façon significative avec le nombre d'années de culture d'une parcelle. En revanche, la durée du sarclage augmente significativement. Le sarclage est également d'autant plus long qu'il est effectué tardivement.

Au temps de sarclage effectué durant la culture doit s'ajouter le temps de nettoyage de la parcelle en début de cycle. En zone tropicale à une saison des pluies et saison sèche marquée, l'enherbement de la parcelle en début de cycle est très faible et peut être éliminé correctement par une préparation de sol bien faite. Mais, dans les régions à deux saisons des pluies (climat guinéo-soudanien) ou dans les régions à hiver froid à forte condensation (régions montagneuses d'Asie du Sud-Est), la végétation se développe de façon importante durant l'inter-culture et les temps de nettoyage sont importants. En Asie du Sud-Est, le sarclage du riz pluvial de montagne représente 30 % des temps de travaux, auxquels viennent s'ajouter 28 % pour le nettoyage de la parcelle en début de cycle. C'est donc près de 60 % du temps qui est consacré à la lutte contre les mauvaises herbes, ce qui représente 140 à 190 j/ha de travail.

En culture attelée ou motorisée, l'utilisation du corps sarcler permet de réduire considérablement les temps de travaux. Le sarclage ne nécessite que $1,5 \text{ j} \cdot \text{ha}^{-1}$, auquel s'ajoutent 3 à 6 $\text{j} \cdot \text{ha}^{-1}$ de sarclage manuel sur la ligne.

Le désherbage chimique de pré-levée permet un gain de temps important en éliminant ou en retardant le premier sarclage ou tout au moins, en le facilitant considérablement. Il permet ainsi d'améliorer le calendrier agricole en dégageant du temps au moment des sarclages, qui peut être reporté sur d'autres activités.

Le coût réel du désherbage dans les petites exploitations traditionnelles est difficile à chiffrer dans la mesure où la main-d'œuvre est essentiellement familiale ou organisée en travaux collectifs villageois, donc non rémunérée. À Madagascar, le coût du désherbage de la culture cotonnière représente 15 à 35 % des dépenses de production. Il en est de même pour l'entretien des cultures vivrières et cela ne représente que 10 à 20 % des dépenses en riziculture irriguée, culture pour laquelle le sarclage est souvent délaissé ou tardif.

Dans le calendrier de travail de l'exploitation, les premiers sarclages des cultures vivrières précoces entrent en concurrence avec la préparation des sols et les semis des cultures cotonnières et vivrières tardives. Ainsi, en culture traditionnelle, il est fréquent que l'un ou l'autre de ces travaux soit mal réalisé du fait de l'enherbement trop développé. Le sarclage est l'activité la plus consommatrice de temps pendant la saison de culture, notamment à une période où certains labours et semis sont encore à réaliser. La priorité est donnée à ces derniers au détriment des sarclages. Ceci se traduit par de forts enherbements donc par un travail ultérieur plus pénible et plus exigeant en temps.

L'intensification des cultures et la valorisation des intrants nécessitent une bonne maîtrise de l'enherbement. De nombreuses études montrent que la fertilisation est d'autant plus efficace que la maîtrise de l'enherbement est meilleure.

Le choix des itinéraires techniques et des rotations doit parfois être élaboré en fonction de certaines contraintes d'ordre malherbologique. C'est ainsi qu'au Bénin, l'apport de fumure organique (terre de parcage des zébus) n'est plus préconisé sur le cotonnier mais sur le maïs désherbé chimiquement, car les infestations d'*Ipomoea erio-carpa*, liées à l'apport de ce type de fumure, sont mieux maîtrisées par l'atrazine en culture de maïs. La rotation des cultures et des pratiques qui leur sont associées prend alors toute sa signification pour une gestion des enherbements. Par exemple, la culture continue de sorgho est proscrite sur les parcelles très infestées de *Striga* spp. : on préconise une rotation avec des plantes pièges *faux hôtes* (cotonnier, arachide...) qui permettent la germination mais pas la croissance complète du parasite et l'utilisation de variétés tolérantes voire résistantes.

LA MAÎTRISE DE L'ENHERBEMENT DES CULTURES

La lutte contre les mauvaises herbes ne pose pas de problème tant qu'on a la capacité de travail suffisante pour désherber manuellement par arrachage, sarclage ou rabatage à la machette. Cependant deux facteurs conduisent à des situations où l'enherbement n'est plus maîtrisé : l'augmentation des surfaces mises en culture et l'allongement de l'âge des parcelles avec l'abandon des jachères nettooyantes.

À la période de mise en place des cultures, au début de la saison des pluies, les activités de semis des cultures tardives et de désherbage des cultures précoces ne peuvent souvent être conduites simultanément, d'où l'apparition de goulets d'étranglement dans le calendrier cultural. Ce désherbage est d'autant plus pénible qu'il est effectué tardivement sur des populations de mauvaises herbes très développées.

L'augmentation de la production et la diminution de la pénibilité du travail sont liées à la limitation de l'enherbement précoce. La maîtrise de l'enherbement est un élément de l'itinéraire technique, raisonné par l'agriculteur en fonction de ses objectifs de production. Il est nécessaire de développer la notion de gestion de l'enherbement dans le système de culture en diversifiant les méthodes de lutte, par exemple, par l'utilisation du sarclage mécanique, avec l'emploi d'herbicides à diverses périodes du cycle cultural, ou encore par l'introduction de plantes de couverture dans la rotation.

● **Les méthodes indirectes de maîtrise**

● **Le travail de préparation du sol**

Le labour, qui enfouit les mauvaises herbes et leurs semences, a un rôle nettoyant si la couche travaillée est suffisamment profonde, ce qui est rarement le cas en culture manuelle ou même en culture attelée. Par ailleurs, le type de matériel joue un rôle déterminant : par exemple, les outils à disques favorisent la multiplication des espèces vivaces, comme *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, etc. en culture pluviale ou *Oryza longistaminata* en riz irrigué. Chaque fragment de rhizome ou de stolon, multiplié par sectionnement, donne une nouvelle plante, de même que chaque tubercule isolé de ses voisins.

● L'implantation de la culture

La fourniture de semences indemnes de graines de mauvaises herbes évite leur installation dans les parcelles. C'est le cas de la production semencière de riz, qui suit des règles précises pour les seuils de présence de graines de riz adventices en riz irrigué ou de *Rottboellia cochinchinensis* en riz pluvial. Dans les pays, où a été mis en place un contrôle strict des semences, la riziculture est indemne de riz adventices ; au contraire, là où le contrôle des semences est moins strict, les parcelles nouvellement mises en culture sont très rapidement infestées. Si la gamme variétale est suffisamment large, il y a également toujours avantage à semer une variété vigoureuse à port élevé, au feuillage recouvrant et à croissance rapide ; une telle variété aura des avantages dans la compétition avec les riz adventices.

L'augmentation de la densité de semis est souvent préconisée pour réduire l'enherbement, sous réserve que la fertilité du sol soit suffisante ou qu'une fertilisation minérale soit apportée en complément. Cet avantage dans la compétition entre la culture et la mauvaise herbe se retrouve également dans les systèmes de culture où le riz est repiqué ; si, au moment du repiquage, la parcelle vient d'être mise en eau ou bien si le sol vient d'être travaillé, les riz adventices commenceront seulement à germer, alors que la culture sera déjà bien développée. A contrario, les riz adventices prolifèrent dans les zones où l'on passe du repiquage au semis direct ; c'est le cas actuellement en Asie où, faute de main-d'œuvre, le repiquage manuel est abandonné au profit du semis direct.

● La gestion de l'eau en riziculture irriguée

En riziculture irriguée, la gestion de l'eau et la qualité du planage participent à la maîtrise de l'enherbement. Une pré-irrigation suivie d'un assèchement provoque la germination des mauvaises herbes et leur élimination ; ce cycle peut être répété si l'eau est disponible. La submersion des casiers donne de bons résultats sur *Echinochloa colona* et *Ischaemum rugosum*, si le planage est parfait et si la lame d'eau atteint 10 à 15 cm. Par ailleurs, l'entretien des canaux améliore la propreté des eaux d'irrigation et réduit les sources d'infestation, par exemple avec *Scirpus maritimus* ou *Typha domingensis*.

● Le paillage du sol

Utilisé parfois en culture de manioc, d'igname ou de canne à sucre, le paillis (ou mulch) maîtrise bien l'enherbement, sauf par certaines espèces telles que *Rottboellia cochinchinensis* ou *Cyperus rotundus*. Hormis en canne à sucre où le paillis est constitué par l'effeuillage à la récolte, la contrainte majeure de cette technique est l'approvisionnement en paille : il est nécessaire de prévoir au moins sept tonnes de paille pour couvrir une parcelle d'un hectare.

Le paillage du sol au moyen de bâches plastiques est surtout employé en culture maraîchère ; il agit par ombrage et solarisation.

● Les plantes de couverture

L'utilisation des plantes de couverture répond à deux priorités : la lutte contre l'érosion et la maîtrise de l'enherbement. L'utilisation de couvertures de graminées ou de légumineuses modifie assez profondément l'ensemble des composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème cultivé.

On peut citer notamment la modification du bilan hydrique, des flux minéraux et de l'activité biologique, ainsi que la libération de substances chimiques par les plantes.

Un couvert fermé et permanent protège en effet le sol de l'action mécanique des gouttes de pluie, phénomène important en milieu tropical, car les pluies sont fréquemment intenses. Ainsi, par la préservation de la structure du sol et leur rôle d'absorption, les couvertures favorisent l'infiltration de l'eau au détriment du ruissellement (cf. chapitre 434). Par ailleurs, une couverture permanente du sol réduit la prolifération des mauvaises herbes par effet d'ombrage, par la compétition pour les ressources du milieu et, aussi, par des effets allélopathiques fréquemment suggérés par l'expérience.

Quelques plantes de couverture, actuellement testées dans différentes situations en zone tropicale, se sont montrées particulièrement intéressantes pour leur comportement agronomique ; il s'agit notamment de légumineuses comme *Arachis pintoï*, *Calopogonium mucunoides*, *Canavalia ensiformis*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosema pubescens*, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Pueraria phaseoloides* ou de graminées, telles que *Paspalum notatum*, *Pennisetum clandestinum*, le mil, *Pennisetum glaucum* ou le sorgho, *Sorghum bicolor*.

Ces espèces sont connues pour leur bon comportement et des semences sont facilement disponibles. Cependant, il serait également bon de s'intéresser aux espèces que l'on peut trouver localement.

● La rotation des cultures

La pratique de successions culturales sur une même parcelle permet de rompre les infestations des espèces difficiles à maîtriser, en diversifiant à la fois les conditions culturales et les moyens de lutte propres à chaque culture. Par exemple, en riziculture irriguée, la prolifération des riz adventices est stoppée par une rotation avec une culture pluviale.

● La lutte mécanique

● Le sarclage manuel

En zone tropicale, le sarclage manuel reste la méthode la plus répandue de lutte contre les mauvaises herbes. Cette opération, techniquement la plus simple à réaliser, se heurte néanmoins à de nombreuses contraintes :

- > le sarclage manuel est très souvent réalisé trop tard, alors que les mauvaises herbes ont déjà exercé une forte concurrence sur la culture ;
- > si le sol est humide au moment du sarclage, de nombreuses espèces, telles que *Commelina benghalensis*, ne se dessèchent pas et parviennent à repousser après le sarclage ;
- > les repousses des plantes mal enfouies par le labour, comme *Digitaria horizontalis*, nécessitent un premier sarclage dès la première semaine après le semis, alors que le délai normal est de trois semaines ;
- > le désherbage manuel est parfois délicat contre certaines espèces, quand l'espèce se confond avec la culture, comme le riz adventice annuel, *Oryza barthii* en riz irrigué ;

> le sarclage manuel demande entre dix et vingt jours de travail par hectare, d'après les normes obtenues en zone de savanes pour des cultures semées en rangs. C'est une activité très pénible et la main-d'œuvre, qu'elle soit familiale ou salariée, n'est souvent pas disponible. À la fin de la période d'installation des cultures, qui s'étale sur plus d'un mois, il y a concurrence dans l'organisation du calendrier de travail entre les derniers semis et les premiers sarclages.

La période critique de nuisibilité se situe généralement entre quinze et soixante jours après le semis pour les cultures annuelles à cycle court (cotonnier, maïs, sorgho, etc.) et entre trente et quatre vingt dix jours après la plantation pour les cultures à cycle long (igname, manioc, canne à sucre, etc.). Les sarclages précoces évitent à la culture de subir la nuisibilité des mauvaises herbes qui exercent leur concurrence même à des stades jeunes : on estime que la nuisibilité de cet enherbement précoce cause environ 30 % de pertes, aussi bien en culture cotonnière qu'en culture vivrière.

Si les interventions sont précoces, la végétation est moins développée ; le travail est donc moins pénible et son efficacité est meilleure, car on évite le bouturage de certaines espèces, comme *Commelina benghalensis*, ou bien le repiquage des souches de graminées. De plus, on empêche les espèces à cycle court, comme *Digitaria horizontalis* ou *Dactyloctenium aegyptium*, d'arriver à graines et d'accroître le stock semencier.

● Le sarclage mécanique

Pour les cultures à grands écartements (cotonnier, maïs, sorgho, mil, manioc, canne à sucre, etc.), le sarclage mécanique apporte les avantages suivants :

- > *gain de temps* : même s'il faut faire un sarclage complémentaire sur la ligne en début de cycle, l'opération mécanique sur l'inter-rang prend cinq à dix fois moins de temps que le travail manuel ;
- > *réduction de la pénibilité du travail* : en culture attelée, le guidage d'une houe tractée est un travail moins pénible que le sarclage manuel ;
- > *absence d'intrants* : hormis le coût de l'investissement, la mise en œuvre du sarclage mécanique n'induit pas de mouvement de trésorerie, puisque le travail est généralement fait par des membres de l'exploitation ;
- > *la combinaison des interventions* : l'enfouissement de l'engrais peut être effectué par un buttage, qui réalise simultanément un sarclage mécanique.

Toutefois, la pratique du sarclage mécanique impose certaines contraintes :

- > *la diffusion du matériel* : en culture attelée, hormis la nécessité évidente de pratiquer l'élevage, les exploitations ne sont souvent pas équipées avec du matériel de sarclage mécanique¹⁴. Il est donc nécessaire d'augmenter la diffusion des houes utilisables en culture attelée et de former les agriculteurs au dressage des animaux pour les sarclages ;
- > *la précocité des interventions* : encore plus que pour le sarclage manuel, il est indispensable d'insister sur l'intérêt de la précocité des interventions, afin d'empêcher la concurrence des mauvaises herbes sur la culture, mais surtout de faciliter le travail en évitant les bourrages des plantes trop développées dans les corps sarcleurs ;

¹⁴ Le premier investissement en culture attelée est la charrue.

- > *la modification des systèmes de cultures* : le sarclage mécanique n'est pas possible si le défrichage a laissé de nombreuses souches et résidus sur la parcelle, si le semis n'est pas fait en ligne ou si l'inter-rang est planté de cultures associées qui empêchent le passage des outils.

● Le gyrobroyage

Pour les exploitations motorisées, le gyrobroyage est une technique courante d'entretien des parcelles en arboriculture (manguier, agrumes...) pour limiter le développement de l'enherbement naturel des inter-rangs, ou dans les pâturages pour rabattre les espèces nuisibles.

● L'emploi d'herbicides

Par rapport aux entretiens mécaniques, l'emploi des herbicides offre l'avantage de réduire la charge de travail consacrée à la maîtrise des mauvaises herbes en facilitant l'organisation du calendrier cultural, puisqu'une application d'herbicide demande moins d'une journée par hectare. En outre, utilisés à temps, les herbicides suppriment la concurrence de l'enherbement, notamment pendant la phase d'installation de la culture.

● Les types de produits herbicides

Plusieurs critères sont utilisés pour distinguer les différents types d'herbicides.

● Les spécificités

- > *herbicide sélectif* : herbicide qui, utilisé dans des conditions normales d'emploi, respecte certaines cultures et permet de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures ;
- > *herbicide total* : herbicide qui, utilisé aux doses conseillées pour cet usage, est susceptible de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'action variables.

● Les modes d'action

- > *herbicide à pénétration racinaire* : appliqué sur le sol, il pénètre par les organes souterrains des végétaux (racines, graines, plantules) ;
- > *herbicide à pénétration foliaire* : appliqué sur le feuillage, il pénètre par les organes aériens des végétaux (feuilles, pétioles, tiges) ;
- > *herbicide de contact* : herbicide qui agit après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée ;
- > *herbicide systémique* : substance ou préparation herbicide capable d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

● **Les époques d'application par rapport à la végétation**

- > *traitement herbicide de pré-semis* : l'herbicide est appliqué après la préparation du sol et avant le semis de la culture ; cela permet notamment l'incorporation des produits volatiles ou photodégradables ;
- > *traitement herbicide de post-semis* : effectué aussitôt après le semis ;
- > *traitement herbicide de pré-levée* : effectué avant la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;
- > *traitement herbicide de post-levée* : effectué après la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;
- > *traitement herbicide de post-levée précoce* : effectué avant la levée de la culture, mais après celle des mauvaises herbes, associant un herbicide de pré-levée et un herbicide de post-levée.

● **Les types d'application**

- > *traitement herbicide en plein* : effectué sur toute la surface de la parcelle ;
- > *traitement herbicide localisé* : effectué sur une partie du sol, de la culture ou des mauvaises herbes ;
- > *traitement herbicide dirigé* : effectué avec un herbicide non sélectif en protégeant la plante cultivée lors de l'application.

Quelques définitions de termes associés aux herbicides¹⁵

Association : préparation qui contient plusieurs matières actives.

Dose : quantité de matière active ou de préparation appliquée par unité de surface traitée¹⁶.

Formulant : toute substance ajoutée à la (ou les) matière(s) active(s) pour obtenir le produit formulé

Formulation : combinaison de divers composés visant à rendre le produit utilisable efficacement pour le but recherché.

Forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est mis sur le marché (CS : suspension de capsules ; EC : concentré émulsionnable ; SC : suspension concentrée ; SE : suspension-émulsion ; SL : concentré soluble ; SP : poudre soluble dans l'eau ; WG : granulés à disperser dans l'eau ; WP : poudre mouillable ; etc.).

Graminicide : substance ou préparation herbicide ayant une action spécifique sur les graminées et sélectif des dicotylédones.

Phytotoxicité : propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables.

Matière active : constituant d'une préparation auquel est attribué en tout ou en partie son efficacité.

Préparation ou produit formulé : mélange prêt à l'emploi d'une matière active et de formulants (cf. association).

Rémanence ou persistance d'action : durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité.

Spécialité : produit formulé de composition définie, autorisé à la vente sous un nom de marque.

Spectre d'efficacité : ensemble des espèces maîtrisées par un produit à une dose donnée.

Teneur : quantité de matière active contenue dans une unité de masse ou de volume d'une préparation ; elle s'exprime en pourcentage pondéral pour les formulations solides, et en g/l pour les formulations liquides.

15 Sources : ACTA, 2000. *Index phytosanitaire*. 36^{ème} édition. Association de coordination technique agricole. Paris. 644 p. DEUSE J. & LAVABRE E.M., 1979. *Le désherbage des cultures sous les tropiques*. Maisonneuve et Larose. France. 310 p.

16 Pour éviter toute ambiguïté, on exprime en grammes les doses de matières actives, et en kilogrammes ou en litres les doses de spécialités.

● La place des herbicides dans l'itinéraire technique

● Les herbicides de pré-levée

Ils ont fait l'objet des premières diffusions en zone tropicale, notamment sur les cultures des rotations cotonnières. Ces produits sont faciles à vulgariser, car leur spectre d'efficacité est souvent assez large et ils s'appliquent à une période bien définie, juste après le semis. Toutefois, ils sont très dépendants de l'état physique du sol : ils ne peuvent pas être appliqués sur un sol trop motteux ou couvert par un paillis épais. Leur disponibilité dans la solution du sol dépend de la texture : le produit est adsorbé par les feuillets d'argile ou les colloïdes de la matière organique. Dans ce cas, la dose d'emploi doit être augmentée.

Inversement, en sol sableux, les risques de phytotoxicité sont accrus. La pluie, avant ou après l'application, favorise généralement la diffusion à la surface du sol de ces herbicides à pénétration racinaire. Une pluie érosive qui survient après l'application risque cependant d'entraîner le produit par ruissellement.

● Les produits de post-levée

Ils sont fréquemment employés en culture de riz ou de canne à sucre et peuvent être choisis en fonction des mauvaises herbes présentes. Ces produits sont souvent spécifiques : action anti-dicotylédone en culture de maïs, de riz ou de canne à sucre ou graminicide en culture de cotonnier ou de légumineuses. Ils sont indépendants du type de sol et de son état. En revanche, la pluie diminue, par entraînement du dépôt, l'efficacité de ces herbicides à pénétration foliaire épanchés sur le feuillage. Le délai nécessaire entre la pulvérisation et la pluie dépend du produit et de l'intensité de la pluie. D'autre part, la détermination de la date d'application est parfois difficile.

● Les herbicides totaux

Ce sont les plus répandus des produits de post-levée des mauvaises herbes. Ils peuvent être employés à diverses périodes du cycle cultural, soit en traitement en plein ou en localisé si la culture n'est pas installée, soit en traitement dirigé en cours de culture. Le choix des produits dépend des espèces à détruire :

- > en cas d'infestation par des espèces vivaces comme *Cynodon dactylon*, *Imperata cylindrica*, *Cyperus esculentus*, *Cyperus rotundus* ou *Launaea sp.*, des produits systémiques comme le glyphosate ou le sulfosate sont recommandés ;
- > si la flore n'est constituée que d'espèces annuelles (*Digitaria horizontalis*, *Tridax procumbens*, etc.), les produits de contact, comme le paraquat ou le glufosinate ammonium seront suffisants.

Quelle que soit la période d'emploi, l'efficacité sera meilleure si l'épandage est effectué sur des mauvaises herbes au stade plantule, sensibles au produit total à des doses assez faibles. Par exemple, lorsque les premières pluies arrivent très tôt, il est préférable de faire deux applications de paraquat à 200 g/ha à deux ou trois semaines d'intervalle sur des plantules de *Digitaria horizontalis*, plutôt que d'attendre la veille du semis, car alors une dose de 600 g/ha sera nécessaire sur des plantes adultes, sans garantie d'efficacité totale. Lors des applications de produits de post-levée, la pulvérisation atteint difficilement les parties basses des végétaux trop développés à cause d'un effet *parapluie*.

Il n'y a pas de risque de phytotoxicité en appliquant au moment du semis des herbicides totaux à pénétration foliaire, comme le paraquat et le glyphosate. Ces produits sont immobilisés et donc inactivés au contact du sol, par adsorption ou formation de complexe avec les argiles ou la matière organique. Tant que la culture n'est pas levée, elle ne peut être touchée. Ce n'est que dans les sols dégradés très sableux, sans matière organique ni argile qu'il pourrait y avoir un risque de phytotoxicité.

Tant en culture manuelle qu'en culture mécanisée, plusieurs cas de figures conditionnent l'emploi des herbicides totaux avant la levée de la culture.

En début de saison des pluies

Les précipitations sont trop réduites et trop irrégulières pour commencer les travaux du sol ; cependant, l'humidité est suffisante pour que se développent les mauvaises herbes à cycle court. Dans ce cas, le labour tardif, qui ne travaille souvent que sur une faible épaisseur de sol sans le retourner, ne permet pas d'enfouir complètement la végétation. Un nettoyage de la parcelle avec un herbicide avant le labour est alors souvent une bonne solution.

En cas de grosse charge de travail

Dans de nombreuses situations, la charge de travail ne permet pas à l'agriculteur de pratiquer la préparation de la parcelle et l'implantation de la culture assez rapidement pour empêcher le développement de l'enherbement sur les parcelles. En outre, l'irrégularité des pluies impose l'étalement des opérations culturales sur de longues périodes mises à profit par les mauvaises herbes pour s'installer. Les plantules apparues après le travail du sol peuvent être éliminées avec un herbicide total. Cette technique dite du *faux semis* est particulièrement efficace contre les espèces comme *Commelina benghalensis* dont la germination est favorisée par le travail du sol. En culture irriguée, une pré-irrigation, suivie de la destruction de l'enherbement par un herbicide total, joue le même rôle, par exemple pour lutter contre les riz adventices.

Le semis direct

La pratique du *semis direct*, avec suppression du travail du sol, permet une installation rapide des cultures et réduit la contrainte du respect des dates optimales de semis ; mais cette technique impose l'emploi d'herbicides totaux juste avant le semis, mais aussi dans les semaines qui précèdent, si des pluies ont fait germer des mauvaises herbes. Les producteurs en culture manuelle constituent une cible prioritaire pour la diffusion de cette technique. Attention toutefois à l'emploi de l'expression *semis direct* car elle concerne à la fois les cultures pluviales et le riz irrigué, mais avec des significations différentes dans les deux cas : en cultures pluviales, le semis direct correspond à la suppression du travail du sol avant l'implantation de la culture ; en riziculture irriguée, on parle de semis direct quand le riz est semé au lieu d'être repiqué, quelle que soit la préparation du terrain qui a précédé.

● **Des traitements dirigés**

Le sarclage mécanique, en culture attelée ou motorisée, utilisable pour les cultures semées à grand écartement (cotonnier, maïs, sorgho, mil, manioc, canne à sucre, arboriculture, etc.), ne peut être mis en œuvre que dans les premiers stades de la culture, afin de ne pas endommager la plante cultivée. Pour les stades ultérieurs, l'entretien de l'inter-rang peut être réalisé par des traitements dirigés avec des herbicides non

sélectifs de la culture. Cette technique de désherbage nécessite l'emploi d'un appareil de pulvérisation à pression entretenue équipé d'un cache de protection. Elle a l'avantage d'être rapide et moins pénible que les sarclages manuels.

● La rotation d'herbicides

L'emploi continu des mêmes produits herbicides conduit inévitablement à des sélections de flore, c'est-à-dire des peuplements souvent monospécifiques, constitués des espèces sur lesquelles ces matières actives ne sont pas efficaces. Ces nouvelles populations ne peuvent être maîtrisées que si l'on modifie les techniques de désherbage ou du moins si l'on diversifie les produits utilisés en choisissant d'autres familles chimiques qui auront d'autres sites d'action.

Dans les sélections de flores, il faut distinguer deux types de comportement :

- > soit l'espèce ne fait pas partie du spectre d'efficacité du produit employé et sa sélection par le traitement herbicide est tout à fait prévisible. Il y a alors simplement inefficacité de l'herbicide sur cette espèce, dite tolérante ;
- > soit il s'agit d'une population sur laquelle le produit est normalement actif, mais il peut arriver que certains individus ne soient pas affectés par le produit. Ces plantes non détruites vont se développer et se multiplier, créant ainsi une nouvelle population, que l'on qualifie alors de résistante.

● Les conditions d'application

La réussite d'une application d'herbicide est conditionnée par les règles suivantes :

- > choisir le produit employé en fonction de la flore des mauvaises herbes à maîtriser et de l'itinéraire technique de la culture ;
- > respecter les doses d'application. On constate souvent que les agriculteurs ont tendance à réduire les doses de produits, pour diminuer les coûts et éviter les risques de phytotoxicité, et que les traitements ne sont pas réalisés régulièrement en ligne : ces épandages de mauvaise qualité ne permettent pas une bonne répartition du produit sur la parcelle et créent des zones où le produit est sous-dosé, donc inefficace, et des zones où le produit est surdosé, donc phytotoxique ;
- > appliquer le produit à l'époque d'intervention préconisée. Par exemple, les produits de pré-levée ne doivent pas être appliqués sur des plantes déjà levées. Les herbicides de post-levée sont épandus en fonction du stade de développement des mauvaises herbes, en particulier s'ils ont une action de contact ; ils seront d'autant plus efficaces que les cibles visées sont jeunes. Par exemple, en riziculture, une application de propanil trop tardive se traduit par une mauvaise efficacité sur *Poaceae* : le propanil qui agit par contact, doit être appliqué sur des plantes très jeunes (stade 3-4 feuilles) pour être efficace ;
- > utiliser des appareils adaptés aux pulvérisations d'herbicides équipés de buses à jet plat, obtenu avec des buses pinceau ou miroir et non, comme le font fréquemment des agriculteurs, des appareils prévus pour les pulvérisations d'insecticides¹⁷. Un soin particulier est demandé aux opérateurs pour leur réglage et pour leur entretien après usage : rinçage, nettoyage, etc.

17 Pulvérisateurs équipés de buses à jet conique à turbulence, voire atomiseurs à moteur.

- > vérifier régulièrement l'étalonnage des appareils afin de corriger leurs défauts (usure des buses) ou les défaillances des opérateurs. La quantité de bouillie épanchée par hectare doit être déterminée, pour faire les calculs de dilution ;
- > préparer soigneusement la bouillie est également un élément important de la pulvérisation : afin d'éviter le bouchage des buses, il est indispensable d'employer une eau de bonne qualité, d'utiliser un filtre et de s'assurer de l'homogénéité du mélange ;
- > maîtriser la technique d'application. Il est indispensable que la répartition sur la surface traitée soit parfaitement homogène, ce qui impose la régularité du débit de l'appareil et de la vitesse d'avancement ;
- > tenir compte des précautions d'emploi et des risques de toxicité ; l'emploi d'herbicides de pré-levée a des conséquences sur la suite de l'itinéraire technique : impossibilité par exemple de travailler le sol après l'épandage.

Dans le cas de cultures associées, le facteur essentiel est la sélectivité des herbicides employés par rapport à toutes les cultures en présence dans l'association. Il faudra donc, parmi les herbicides utilisables sur l'une ou l'autre des cultures, vérifier qu'il en existe au moins un qui soit bien sélectif de chacune des cultures à la dose employée, en fonction des époques d'application et des stades de développement des plantes cultivées.

● Les variétés génétiquement modifiées résistantes à un herbicide

La sélection de variétés résistantes ou l'introduction de gènes de résistance à un herbicide dans des variétés cultivées ouvre une nouvelle voie dans la maîtrise de l'enherbement. C'est le cas par exemple de la lutte contre les riz adventices. Le produit, généralement un herbicide total mais parfaitement sélectif de la variété génétiquement modifiée, pourrait être appliqué avec une grande efficacité sur les mauvaises herbes et sans risque pour la culture. Toutefois, se pose le problème de la fuite du gène de résistance à un herbicide dans le cas d'espèces de mauvaises herbes très proches de la culture, comme les riz adventices. Une pollinisation croisée serait possible entre riz adventice et riz cultivé. Il pourrait alors y avoir invasion par des riz adventices résistants, d'autant plus rapide qu'une forte pression herbicide serait appliquée sur plusieurs cycles successifs. Ainsi, il existe un risque de pollution génétique si des variétés de riz dérivées de transformations génétiques se développent.

● Quelques cas particuliers

L'agriculteur doit être sensibilisé aux risques de contamination de ses parcelles par les espèces dangereuses. Si la lutte contre ces espèces est entreprise dès les premiers stades de l'infestation, quand quelques individus sont repérés sur la parcelle et sans attendre que la population dépasse le seuil de nuisibilité, le coût des moyens à mettre en œuvre sera limité. Cette stratégie de protection, qui vise l'élimination d'une mauvaise herbe sur de faibles surfaces par un désherbage localisé, impose de savoir reconnaître la plante nuisible¹⁸, d'en détecter très rapidement la présence sur la parcelle (surveillance régulière), de raisonner le désherbage sur plusieurs années, et de pouvoir disposer de produits à un coût très faible.

¹⁸ Apprentissage de l'identification des mauvaises herbes et mise à disposition de manuels de reconnaissance.

● **Désherbage des espèces vivaces**¹⁹

Plusieurs techniques de lutte sont envisageables sur ces espèces vivaces, dont la multiplication est assurée par des organes de réserve (rhizomes, tubercules ou bulbes) :

- > le sarclage manuel ou mécanique en cours de culture, qui impose d'intervenir à chaque nouvelle levée avant la formation des organes de réserves pour épuiser le stock d'organes de réserve ;
- > l'extirpation manuelle des organes de réserve, ce qui n'est possible que sur de petites surfaces ;
- > les travaux du sol répétés pour épuiser les organes de réserve : cette technique est très onéreuse et demande beaucoup de travail ;
- > le labour de fin de cycle pour extraire les organes de réserve du sol et les laisser se dessécher au soleil durant la saison sèche ;
- > l'emploi d'herbicides totaux systémiques (glyphosate, sulfosate) au moment de la préparation du terrain. Pour ces produits, la meilleure efficacité est obtenue à la floraison de la mauvaise herbe. Cependant, ce n'est pas l'efficacité maximale qu'il faut rechercher ; il faut intervenir en fonction des contraintes de l'itinéraire technique de la culture. Il peut ainsi être préférable de perdre en efficacité de l'herbicide en traitant avant la floraison de *Cyperus rotundus*, pour respecter la date de semis de la culture.

● **Désherbage de *Rottboellia cochinchinensis***

Cette graminée qui concurrence vigoureusement les cultures pluviales, est mal maîtrisée par beaucoup de produits herbicides. Il existe cependant deux types d'herbicides utilisables contre cette mauvaise herbe :

- > la pendiméthaline, produit de post-semis/pré-levée à action anti-germinative, qui s'emploie principalement sur cotonnier, maïs, riz ou canne à sucre ;
- > les produits graminicides, qui s'utilisent sur les cultures dicotylédones : cotonnier, arachide, soja, niébé, tournesol, etc.

● **Désherbage de *Commelina benghalensis***

Souvent peu sensible aux herbicides de pré-levée, cette espèce, qui ne se dessèche pas, repart rapidement après un sarclage. Hormis la technique de faux semis, avec l'emploi d'herbicide total (cf. supra), il est possible de maîtriser *Commelina benghalensis* avec certaines matières actives à action spécifique :

- > en culture de maïs, en pré-levée avec l'aclonifén ou en post-levée avec le nicosulfuron ;
- > en post-levée du cotonnier, avec le pirithiobac sodium.

¹⁹ *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus*, etc.

● Désherbage de *Striga* spp.

Il existe plusieurs espèces de *Striga*, qui parasitent les cultures. *S. hermonthica*, *S. aspera*, et *S. lutea* sont des hémiparasites sur les cultures de céréales (sorgho, maïs, mil, riz pluvial, fonio, canne à sucre), alors que *S. gesnerioides* est un holoparasite sur légumineuses (niébé). Sous-tendues par l'objectif d'une lutte intégrée, qui doit faire la synthèse des méthodes permettant la limitation des populations de *Striga*, différentes techniques peuvent être mises en œuvre pour les maîtriser :

● **Choix de variétés tolérantes**

Des travaux de sélection pour la résistance aux *Striga* sont conduits par plusieurs organismes de recherche.

● **Lutte agronomique**

- > *paillage du sol* : la germination des graines de *Striga* exige des températures élevées ; le paillage, qui limite l'échauffement du sol par le soleil, réduit les populations de *Striga* en bloquant cette phase du développement ;
- > *fertilisation et fumure* : les *Striga* se développent d'autant plus que les conditions de culture sont défavorables ; il est donc très important d'améliorer la fertilité du sol²⁰, plus particulièrement en augmentant l'apport d'azote. Par ailleurs, une culture vigoureuse résiste mieux au parasitisme des *Striga* et son ombrage sur le sol contribue à limiter la germination des *Striga* ;
- > *rotation des cultures* : certaines cultures, comme le cotonnier, jouent le rôle de plantes-pièges qui font germer les *Striga* sans permettre la fixation sur les racines ;
- > *culture associée* : l'effet d'une culture intercalaire, comme l'arachide, ou d'une plante de couverture sur les *Striga* se situe à trois niveaux complémentaires, combinant les effets du paillage, de la fertilisation et des plantes-pièges.

● **Lutte directe**

Destruction manuelle ou mécanique

Bien que la nuisibilité des *Striga* intervienne dès la fixation de la plantule sur la plante-hôte au cours de la phase souterraine de développement, il est important de détruire les parties aériennes le plus tôt possible afin de limiter cette période de concurrence et surtout d'empêcher la production de semences du parasite. Les arrachages ou les sarclages manuels ou mécaniques, qui permettent d'éliminer les parties aériennes des *Striga*, doivent être pratiqués dès l'apparition des premières pousses et renouvelés tant que des pieds subsistent.

Lutte chimique

Les applications d'herbicides de post-levée peuvent être effectuées dans les mêmes conditions (précocité, régularité) que les sarclages, avec par exemple le 2,4-D, le triclopyr ou le fluroxypyr : ces herbicides étant très phytotoxiques sur les cultures dicotylédones (cotonnier, arachide, niébé, cultures maraîchères, etc.), il faut faire très attention aux cultures voisines lors d'une pulvérisation.

²⁰ Niveau global de fertilisation, correction de l'acidité...

● Une prise de décision complexe

La mise en œuvre d'une technique de lutte ne peut pas répondre à un schéma unique de désherbage, mais constitue une prise de décision complexe qui dépend :

- > de l'état d'enherbement actuel ou potentiel (espèces des mauvaises herbes, stade de développement) ;
- > de la culture (pure ou associée) ;
- > de l'itinéraire technique pratiqué ;
- > des contraintes de calendrier cultural ;
- > de l'état de surface de la parcelle (type de sol, mode de travail du sol, humidité) ;
- > du climat ;
- > de l'équipement disponible ;
- > des aspects économiques (rentabilité de l'opération, disponibilité monétaire) ;
- > des possibilités d'approvisionnement pour les herbicides.

Bibliographie

- ACTA, 2000. *Index phytosanitaire*. 36ème édition. Association de coordination technique agricole. Paris. 644 p.
- AKOUBUNDU I. O., 1987. *Weed Science in the Tropics. Principles and Practices*. Wiley ed., 522 p.
- DÉAT M., 1981b. *Principales adventices du cotonnier en Afrique de l'Ouest. Description et techniques de lutte*. IRCT (éd.), Montpellier, 95 p.
- DEUSE J. & LAVABRE E. M., 1979. *Le désherbage des cultures sous les tropiques*. Maisonneuve et Larose eds., Paris, 312 p.
- FEUILLETTE B., MARNOTTE P. & LE BOURGEOIS T., 1994. *La lutte contre Imperata cylindrica*. Agriculture et développement. CIRAD-CA Montpellier (France). 3, 47-48.
- GABOREL C., 1987. *La prévalgarisation des traitements herbicides en culture cotonnière et en maïs - culture au Bénin*. Coton et fibres tropicales, 42, 2, pp.111-115.
- GRARD P., LE BOURGEOIS TH., MERLIER H., 1996. Adventrop Doc V.1.0. *Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. CD-ROM. Montpellier, France, CIRAD-CA éd.
- HOFFMANN G., MARNOTTE P. & DEMBÉLÉ D., 1997. *Emploi d'herbicides pour lutter contre Striga hermonthica*. Agriculture et développement. CIRAD-CA Montpellier (France). 13. pp.58-62.
- ISYS Phytosanitaire, 1999. *Réseau de maîtrise des produits phytopharmaceutiques*. Site Internet. http://www.refer.org/benin_ct/edu/isysphyt/acnavig.htm
- LE BOURGEOIS TH., MERLIER H., 1995. Adventrop. *Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Montpellier, France, CIRAD-CAéd., 640 p.
- LE BOURGEOIS TH., JEUFRFAULT E., FABRIGOULE S. 1999. AdvenRun. *Principales mauvaises herbes de La Réunion*. Saint Denis, La Réunion, CIRAD-CA et SPV éd., 124 p.
- MARNOTTE P., 1995. *Utilisation des herbicides : contraintes et perspectives*. Agriculture et développement. CIRAD-CA Montpellier (France). 7, pp. 12-21.
- MERLIER H. & MONTÉGUT J., 1982. *Adventices tropicales*. ORSTOM-GERDAT-ENSH éd., Montpellier, 490p.
- SCALLA R., 1991. *Les Herbicides, mode d'action et principes d'utilisation*. INRA éd., Paris, 450 p.

La protection contre les maladies et les ravageurs

À partir d'une contribution de A. Renou (CIRAD)
et J.-P. Deguine (CIRAD)

Au cours des dernières années et notamment depuis l'introduction de législations très restrictives sur l'emploi des pesticides¹, la conception des interventions de protection des cultures a fortement évolué. En effet, après une période de très fort développement de l'utilisation des pesticides, les limites de cette méthode ont été mises en évidence : disparition des auxiliaires naturels, apparition de résistance chez les ravageurs, pollution des écosystèmes, intoxication des utilisateurs et des consommateurs lorsque des normes strictes ne sont pas respectées...

La réduction de l'utilisation des pesticides est cependant liée à la capacité d'analyser correctement un problème phytosanitaire au champ et de connaître les méthodes alternatives à l'emploi des pesticides pour gérer les populations de bioagresseurs.

DES DÉFINITIONS UTILES²

Les termes définis ci-dessous sont les plus couramment employés en protection des cultures, il est nécessaire de les connaître pour comprendre ce chapitre.

Antidote : substance capable de neutraliser une substance toxique ou de s'opposer à ses effets, par un mécanisme physique, chimique, biochimique ou pharmacologique.

Autorisation de mise sur le marché (AMM) : acte administratif par lequel l'autorité compétente d'un État membre de l'Union Européenne autorise la mise sur le marché d'un produit phytopharmaceutique sur son territoire. Cette autorisation est délivrée pour une durée maximale de dix ans, renouvelable. Dans certains cas, elle peut être accordée à titre provisoire pour une durée maximale de trois ans, renouvelable (AMMP).

Auxiliaire : animal prédateur ou parasite qui, par son mode de vie, apporte son concours à la destruction de ravageurs nuisibles aux cultures.

Bactériostatique : qualifie une substance ou une préparation qui empêche la multiplication des bactéries sans les détruire.

Biocénose : ensemble des êtres vivants de toutes espèces végétales et animales coexistant dans un milieu déterminé qui offre les conditions nécessaires à leur vie.

Bioprotection : protection de la plante à l'aide d'organismes vivants contre d'éventuels agresseurs. La bioprotection est un des éléments de la lutte biologique.

¹ De la part de l'Union européenne ou des Etats-Unis.

² Source : PROVÉ P.C., AMBROSI D., BARRALIS G., CLUZEAU S., COUTIN R., MULLER B., RAMAT G. 2000. *Répertoire terminologique en protection des plantes*. [On-line]. [2002/01/31]. URL: <http://www.afpp.net/methodesceb/methodes.asp>.

Biotechnologie : étude des techniques mettant en œuvre des processus biologiques pour produire un bien industriel ou de consommation. Exemple : production sélective d'isomères de molécules organiques par des micro-organismes.

Cancérogène : qualifie une substance capable d'engendrer des tumeurs malignes ou de favoriser leur apparition. Ce terme doit être préféré à carcinogène et cancérigène.

Dose létale (DL) : quantité de substance qui, administrée à des animaux de laboratoire, entraîne la mort. Elle est généralement exprimée en milligramme par kilogramme de poids corporel. Exemple : DL₅₀ : dose entraînant 50 % de mortalité.

Écosystème : ensemble interactif constitué par une biocénose et son biotope. Cet ensemble est défini essentiellement par son fonctionnement et non par son territoire.

Effet non intentionnel : on appelle effet non intentionnel d'un produit phytopharmaceutique utilisé dans des conditions normales, toute action bien caractérisée, autre que celle pour laquelle le produit est employé, qu'elle soit bénéfique ou non, immédiate ou à retardement. Cette locution doit être préférée à *action secondaire*. Exemple : certains fongicides actifs contre l'oïdium freinent le développement des acariens ; inversement, certains insecticides favorisent les acariens.

Entomophage : caractérise un organisme animal qui se nourrit d'arthropodes qu'il capture (prédateur) ou aux dépens desquels il se développe (parasite ou parasitoïde).

Indicateur biologique : organisme vivant, animal ou végétal, utilisé comme marqueur de la qualité de l'environnement, par exemple de l'intensité d'une pollution.

Infection : phase d'une maladie qui fait suite à la contamination et correspond au développement d'un agent pathogène à l'intérieur des tissus. Elle prend fin avec la guérison ou la mort de l'hôte.

Infestation : envahissement d'un milieu, d'une plante-hôte ou d'une culture, par une population d'organismes nuisibles, généralement des animaux (insectes, acariens...).

Lutte biologique : méthode qui consiste à combattre un organisme nuisible par l'utilisation de mécanismes naturels appartenant soit au règne animal soit au règne végétal, ou qui en dérivent.

Lutte chimique : méthode qui consiste à utiliser des produits phytopharmaceutiques de nature chimique pour combattre les organismes nuisibles.

Lutte intégrée : application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, chimiques, physiques, culturelles ou mettant en œuvre l'amélioration des végétaux. L'emploi de préparations phytopharmaceutiques y est limité au strict nécessaire pour maintenir les populations d'organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent une perte ou des dommages économiquement inacceptables.

Lutte raisonnée : emploi rationnel de préparations phytopharmaceutiques, se définissant notamment par le choix des produits, de leur dose, de l'époque d'application et des techniques à mettre en œuvre, au sein d'un programme tenant compte de l'évolution des organismes nuisibles.

Mutagène : qualifie un agent physique ou chimique capable d'induire des mutations.

Organisme génétiquement modifié (OGM) : entité biologique unicellulaire ou multicellulaire dont le matériel génétique a été modifié, autrement que par multiplication ou recombinaison naturelle.

Organisme nuisible : organisme vivant appartenant au règne animal ou végétal, ainsi que les virus, bactéries ou autres agents pathogènes, dont la présence n'est pas souhaitée, soit parce qu'il est considéré comme un ennemi des végétaux ou des produits végétaux, soit parce qu'il produit un effet néfaste pour l'homme, les animaux ou l'environnement. Exemples : termites, mérules, mouches des étables...

Parasite : organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un organisme appelé hôte, pendant tout ou partie de son cycle vital en lui portant préjudice sans entraîner obligatoirement sa mort. On distingue l'endoparasite qui se développe à l'intérieur de l'hôte et l'ectoparasite qui évolue à l'extérieur de l'hôte. Exemples : puces, punaises, tiques, gui, orobanches.

Parasitoïde : organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte dont il entraîne obligatoirement la mort. On distingue l'endoparasitoïde et l'ectoparasitoïde. Exemples : trichogrammes, tachinaires, champignons entomopathogènes.

Prédateur : organisme animal qui poursuit et capture des proies vivantes pour s'en nourrir ou pour alimenter sa progéniture. Certains insectes paralysent les proies qu'ils destinent à leurs larves. Exemple : guêpes....

Produit biologique : organisme, substance ou préparation permettant de lutter contre des organismes nuisibles et dont le principe actif est constitué par des organismes vivants (par exemple : souches hypovirulentes de *Cryphonectria*³ *parasitica* contre le chancre du châtaignier) ou des produits de leur métabolisme (par exemple : toxine de *Bacillus thuringiensis* utilisée dans la lutte contre des chenilles de Lépidoptères et des larves de moustiques). Ce terme doit être préféré à *biopesticide*.

Ravageur : organisme nuisible qui vit directement aux dépens de plantes ou de denrées en provoquant des dommages plus ou moins importants. Lorsque ceux-ci sont peu importants, on parle de déprédateur. Ce terme s'applique surtout aux animaux.

Rémanence ou persistance d'action : durée pendant laquelle un produit phytopharmaceutique manifeste une activité biologique. Cette persistance peut être le fait de la substance active, de ses produits de dégradation ou de sa formulation.

Résistance d'un organisme à l'action d'une substance active : absence d'inhibition ou inhibition réduite du développement d'un organisme nuisible après application d'un produit phytopharmaceutique. Cette résistance peut être naturelle ou acquise.

Seuil biologique de nuisibilité : densité ou niveau d'infestation à partir duquel une diminution de rendement ou de qualité est statistiquement décelable.

Seuil économique de nuisibilité : densité ou niveau d'infestation à partir duquel l'effet sur la diminution de rendement ou de qualité est supérieur au coût des moyens mis en œuvre pour lutter contre l'ennemi de la culture.

Tératogène : qualifie une substance susceptible de provoquer chez l'animal des malformations ou des troubles du développement lors de l'embryogenèse.

Toxicité : effet néfaste d'une substance après pénétration dans un organisme vivant (homme, animal...). On peut la mesurer chez les animaux de laboratoire en mettant en œuvre des études portant sur divers modes d'exposition. Selon la durée d'exposition de celles-ci, on distingue généralement différents types de toxicité.

³ Ou *Endothia*.

LE DIAGNOSTIC PHYTOSANITAIRE

Le repérage d'un aspect anormal au sein d'une culture conduit tout naturellement à s'interroger sur les causes de cette anomalie et sur ses conséquences possibles en termes de production. Repérer les causes et prévoir les effets probables, c'est l'objectif du diagnostic phytosanitaire.

● *La description de l'anomalie, du syndrome ou du dégât*

L'aspect anormal peut correspondre à des symptômes⁴, des dégâts⁵, à un développement anormal de plants⁶ ou encore à un aspect anormal du champ⁷. La description, première étape du diagnostic, est facilitée par une comparaison avec des plants non atteints au sein de la parcelle ou dans un environnement proche. Parfois, il peut être utile de décrire l'évolution dans le temps de cette anomalie, grâce aux plants atteints à des degrés différents.

● *La recherche de l'agent causal*

La deuxième étape du diagnostic est la détermination de l'agent causal. Plus la description de l'anomalie est précise, plus cette détermination sera simple à réaliser. L'estimation de l'incidence possible de ce qui est observé sur la production constitue la troisième étape.

Les ennemis naturels des plantes ne sont pas les seuls agents susceptibles de provoquer un aspect anormal au sein d'une culture, même si parfois la description peut correspondre à leurs effets ; un flétrissement peut, par exemple, être provoqué par un stress hydrique d'origine climatique ou lié à un champignon. En conséquence, il importe de considérer les événements survenus avant l'apparition de ce que l'on observe, en particulier en ce qui concerne les pratiques culturales (phytosanitaires et autres) et le climat (pluviométrie et température), mais il convient aussi de s'intéresser aux facteurs biotiques⁸ susceptibles d'être intervenus. On utilise pour cela des informations recueillies auprès des agriculteurs et on extrapole les conséquences possibles d'un événement biotique sur la plante cultivée.

L'observation de l'environnement de la parcelle ou des plants atteints et l'historique des pratiques culturales associées aident à l'élaboration du diagnostic : certaines déformations de feuilles peuvent par exemple être dues à l'épandage d'un herbicide sur une parcelle voisine.

S'il s'agit d'une anomalie connue⁹, provoquée par un ennemi naturel particulier déjà identifié¹⁰, la confirmation de la présence de celui-ci donnera une certaine assurance aux deux premières étapes du diagnostic. Mais il arrive très souvent que l'agent causal ne soit pas connu ou qu'il ne soit plus présent dans la parcelle au moment de l'observation.

4 Organes déformés, coloration anormale, apparition de taches, flétrissement de plants, crispation de feuilles, etc.

5 Organes fructifères troués, tiges perforées, feuilles trouées, minées ou brûlées, etc.

6 Plants exubérants ou nains, fleurs stériles, etc.

7 Manque à la levée, etc.

8 Biotique : qui a pour origine un être vivant.

9 Des documents de référence sur la plante cultivée et l'expérience de l'observateur sont utiles.

10 Pathogène ou ravageur.

L'étude au niveau d'un champ de la répartition des plants atteints, parfois à des degrés divers, est souvent utile. En effet, ces plants peuvent se rencontrer uniquement sur certaines zones de la parcelle¹¹ ou être disposés dans une direction particulière en présentant parfois un gradient de gravité. Associée, lorsque cela est possible, à des relevés sur les ennemis naturels présents, cette analyse permet, à défaut d'identifier l'agent causal, de vérifier au moins s'il provient ou non du sol. En bénéficiant de l'existence de pressions différentes de l'ennemi naturel dans l'espace ou dans le temps, il est parfois possible d'établir sa responsabilité dans l'apparition de l'aspect anormal de la culture. Des compétences extérieures et des essais d'infestation sont dans certains cas nécessaires pour identifier précisément et mesurer l'impact d'un agent peu connu localement.

● **L'évaluation des dégâts probables**

La dernière étape du diagnostic consiste à évaluer l'importance et les conséquences probables sur la culture, en quantité et en qualité. C'est en fonction de cette évaluation qu'on peut décider, en connaissance de cause, de l'intérêt d'intervenir contre l'ennemi naturel supposé responsable. Les conséquences sur la production ne sont que très indirectement liées à l'aspect visuel de la culture : des dégâts qui apparaissent visuellement spectaculaires peuvent correspondre à une faible perte en production alors qu'une infestation peu visible peut parfois conduire à des pertes très importantes. Il est donc important, à cette étape du diagnostic, d'utiliser les références disponibles sur la relation entre le degré d'infestation par le parasite ou le ravageur concerné et le rendement susceptible d'être obtenu. Ces références ont parfois intérêt à être obtenues ou validées localement, à partir d'essais ou de suivis de parcelles paysannes.

LA PROTECTION INTÉGRÉE

● **Le concept et le principe**

Il a été élaboré en Amérique du Nord au début des années 50. L'expansion de l'agriculture reposait alors en grande partie sur le développement de l'utilisation de pesticides. Les problèmes sanitaires et environnementaux qui en résultèrent firent prendre conscience à l'opinion scientifique et publique des dangers d'une utilisation excessive des pesticides pour la santé humaine et l'environnement. Il existe des dizaines de définitions des mots et des concepts : IPM, lutte intégrée, protection intégrée, protection raisonnée, production intégrée, etc. On pourra utilement se référer aux sites internet et aux ouvrages sur le sujet.

¹¹ Dont on relève les éventuelles particularités : places inondées, enherbées, bordures de champ.

Une stratégie de lutte intégrée¹² repose sur deux principes :

- > l'intégration de différentes méthodes de lutte, sélectionnées pour leurs effets aussi réduits que possible sur l'environnement ;
- > la mise au point d'outils d'aide à la décision permettant à l'agriculteur d'évaluer les risques réellement encourus au niveau des parcelles pour décider quand et comment intervenir. Ceci fait appel aux notions de seuils de nuisibilité et d'intervention.

La protection intégrée est une composante de la production intégrée : gestion des agro-systèmes au sens large. Elle repose sur une bonne connaissance de leur fonctionnement pour maintenir les différentes nuisances en dessous de seuils économiquement préjudiciables, en tenant compte de paramètres environnementaux et sociaux : stratégies et pratiques des agriculteurs et des autres acteurs, dont les consommateurs.

De nombreux débats ont animé les spécialistes sur la place que devait occuper la protection chimique au sein des mesures à mettre en œuvre dans une protection intégrée contre les nuisibles. Si une large majorité d'entre eux accepte actuellement l'emploi raisonné des pesticides après avoir mis en œuvre toutes les alternatives possibles, des partisans d'une exclusion totale de l'utilisation de pesticides existent aussi.

La mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée demande en général de combiner plusieurs méthodes de lutte. Nous présentons ci-dessous les principes et quelques exemples des méthodes les plus fréquemment employées.

● **La résistance variétale ou spécifique**

D'une manière générale, lorsqu'il est possible de disposer d'une variété ou d'une espèce résistante ou tolérante à une nuisance, l'utilisation de cette variété représente la voie efficace la plus économique et la moins dangereuse vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine pour lutter contre cette nuisance.

Vis-à-vis des ravageurs, les mécanismes de résistance des plantes sont très variés. Un cultivar peut par exemple :

- > présenter des caractéristiques empêchant ou réduisant les pontes d'un ravageur ;
- > sécréter des substances répulsives ;
- > être moins appétant en offrant parfois des caractéristiques nutritives défavorables au développement d'un ravageur ;
- > ne pas procurer de refuge à un ravageur pour se mettre à l'abri de ses parasites ou prédateurs.

La tolérance caractérise des variétés susceptibles de mieux résister aux dommages causés par certains ravageurs¹³ ou de mieux récupérer des dégâts¹⁴.

Un même caractère variétal peut quelquefois avoir des effets opposés ou divergents sur la même espèce de ravageur ou sur des espèces différentes : la pilosité foliaire chez le cotonnier limite les pontes de jassides mais les met indirectement à l'abri de leurs prédateurs et parasites ; elle favorise par contre les pontes d'aleurodes.

¹² En anglais IPM : *Integrated Pest Management*.

¹³ Par exemple l'épaisseur de la cuticule des feuilles rend difficile la prise de nourriture d'insectes piqueur-suceurs.

¹⁴ Par exemple l'épaisseur des tissus palissadiques au niveau du limbe des feuilles permet une reconstitution des tissus après des dégâts de jassides.

Enfin, l'expression de certains caractères variétaux peut dépendre des conditions du milieu ou de culture, de sorte qu'une variété présentant un caractère de résistance à un ravageur dans une région donnée peut lui être plus sensible dans une autre ; la virulence des populations de ce ravageur peut également varier entre ces deux régions.

Pour ces raisons auxquelles s'ajoute le fait qu'une plante cultivée affronte en général un complexe de ravageurs et non un seul, les exemples d'utilisation de la résistance variétale aux insectes sont peu fréquents au niveau des cultures tropicales. En dehors de la pilosité foliaire chez le cotonnier, on peut citer la tolérance de certaines variétés de maïs à *Sitophilus zeamais*¹⁵ qui est un ravageur des denrées stockées ou à *Sesamia calamistis*¹⁶, la tolérance de certaines variétés de mil aux borers, les variétés de sorgho à grains vitreux résistant mieux aux ravageurs des stocks ou moins sensibles à *Atherigona soccata*¹⁷.

Vis-à-vis des nématodes et des maladies, qu'elles soient d'origine fongique, bactérienne, virale ou mycoplasmique, il a en revanche été possible de créer des variétés résistantes ou tolérantes chez de nombreuses espèces cultivées. Notons toutefois que ces phénomènes de résistance ou de tolérance peuvent ne concerner que certaines souches du pathogène (cas de la maladie bleue du cotonnier).

Depuis quelques années, des variétés résistantes à certains ravageurs ont été mises au point par transformation génétique chez certaines plantes cultivées. Le principe est de transférer aux plantes cultivées la capacité de produire des substances bloquant le développement des parasites, pathogènes et ravageurs. L'utilisation de ce matériel végétal transformé, appelé couramment organismes génétiquement modifiés (cf. chapitre 431) soulève cependant un certain nombre de questions scientifiques et leur diffusion fait l'objet de larges controverses en matière de biosécurité.

15 Motschulsky.

16 Hampson.

17 Rondani.

Tableau 1. Possibilités d'utilisation de cultivars résistants ou tolérants chez les principales plantes tropicales cultivées

Cultures	Maladies importantes pour lesquelles des variétés résistantes ou tolérantes existent	Maladies importantes pour lesquelles des variétés résistantes ou tolérantes n'existent pas
Agumes	Phytophthora, tristeza, xyloporose, exocortis	anthracnose
Ananas	bactériose	phytophthora
Arachide	rosette	cercosporiose, rouille
Banancier	fusariose	cercosporiose
Cacaoyer		pourriture brune des cabosses
Caféier		rouille
canne à sucre	charbon, mildiou, fusariose, morve rouge, gommose, échaudement, mosaïque, viroses	
Cotonnier	fusariose, bactériose, maladie bleue, mosaïque, frisolée, virescence	
Maïs	rouille américaine, helminthosporiose, viroses	
Manioc	viroses, bactériose	
Mil	mildiou, charbon du grain	
palmier dattier	fusariose	
Papayer		mosaïque
patate douce	nématodes	
Poivrier	Phytophthora palmivora	
pomme de terre	viroses, bactérioses	mildiou
Riz	pyriculariose, helminthosporiose, rhyncosporiose, Rhizoctonia solani, bactérioses, viroses	
Soja	anthracnose, mosaïques	
Sorgho	moisissures des graines	charbons
Tabac	fusariose, mildiou, viroses	
Tomate	fusariose, bactériose, nématodes	

● Les pratiques culturales

● Augmenter la vigueur de la plante cultivée

Plus une plante est fragile, plus elle est sensible à l'action de ravageurs ou de maladies. En conséquence, toutes les pratiques culturales qui renforcent la vigueur d'une plante cultivée contribuent à augmenter sa résistance ou sa tolérance à ses ennemis naturels.

Citons :

- > *la préparation du sol* : l'incidence de la pyriculariose du riz pluvial est moins forte si un labour profond est réalisé ;
- > *la fertilisation minérale* : la correction d'une carence en silice diminue l'importance de l'helminthosporiose du riz. Mais cette fertilisation doit être équilibrée car de nombreuses nuisances peuvent être accentuées en cas d'excès : cas des jassides chez le cotonnier ou de la pyriculariose chez le riz si de fortes fumures azotées sont apportées ;
- > *l'entretien de la culture vis-à-vis des adventices* qui réduit les possibilités de refuge ou de multiplication de certains ravageurs : cas de la punaise du riz *Leptocorisa acuta* Thunberg qui peut se développer sur *Echinochloa crus-galli* ou de *Chilo polychrysus* Meyrick, borer du riz sur *Scirpus gossus*.

● Utiliser un matériel végétal sain

Il est important d'utiliser des semences ou des plants (ou fragments d'organes végétaux) indemnes de tout germe pathogène ou de nématode¹⁸ et d'éviter toute introduction variétale dangereuse (pour l'Afrique cas des hévéas américains ou des théiers en provenance d'Asie).

● Choisir une bonne date de semis pour les cultures annuelles

L'influence de la date de semis est souvent essentielle. Généralement, plus la date de semis est précoce, meilleures sont les productions, moins fortes sont les incidences des nuisances et plus rentable devient leur contrôle. En effet, pour les ravageurs présents dans les régions où il existe une longue période sans pluie (saison sèche), les infestations croissent au fur et à mesure que l'on avance dans le cycle d'une culture semée au début de la saison des pluies : cas de la rosette sur arachide, de la mouche des pousses, *A. soccata*, ou de la cécidomyie *Contarina sorghicola*¹⁹ sur sorgho, de *Thrips tabaci*²⁰ sur cultures légumières, de la coccinelle mexicaine *Epilachna varivestis*²¹ et de l'agromyzide *Ophiomyia phaseolis*²² sur haricot ou encore d'*Helicoverpa armigera*²³ sur cotonnier. En semant précocement, on permet à la culture d'échapper aux fortes pressions de certains ravageurs en fin de campagne.

Une bonne date de semis ne signifie pas toujours une date précoce, car pour certaines maladies les semis les plus précoces sont aussi les plus touchés : cas de la maladie bleue et de la virescence du cotonnier. Dans certaines régions, le semis de riz peut être soit précoce soit tardif pour éviter les dégâts de cécidomyies dont les infestations apparaissent en milieu de saison.

D'une manière générale il convient d'apprécier l'impact d'une nuisance dans une région donnée pour remettre en cause ou non l'intérêt des semis précoces d'une culture en regard des pertes de production attendues avec des semis tardifs.

18 Obtenus par thérapie pour le manioc ou la canne à sucre par exemple.

19 Coquillett.

20 Lindeman.

21 Mulsant.

22 Tryon.

23 Hübner.

● Choisir des cultivars au cycle adapté

Malheureusement, exception faite des régions où la saison des pluies est longue, les possibilités de choix de la date de semis sont souvent très limitées. Ainsi, c'est souvent plus à travers le choix de la variété (précoce ou tardive), en lien avec la date de semis, que l'on évite une coïncidence entre un stade sensible de la plante et une pression forte exercée par une nuisance. Il s'agit dans ce cas de pseudo-résistance variétale. Une variété de mil à floraison précoce, un riz très précoce et une variété de cotonnier très précoce pourront ainsi échapper à des attaques tardives de certains ravageurs²⁴ dans la mesure où elles ne sont pas semées trop tardivement. Cet effet peut se poursuivre l'année suivante car faute de pouvoir correctement se développer, peu de ravageurs entreront en diapause à la fin de la saison de culture²⁵. Pour le cotonnier, si la précocité est alliée à une défoliation précoce, on supprime également les possibilités de développement des ravageurs responsables des dépôts de miellats sur la fibre.

En fonction de la plante et de la nuisance, la précocité n'est pas toujours le caractère à rechercher. Ainsi, une variété de sorgho dont la maturité des grains a lieu après l'arrêt des pluies a des grains moins endommagés par des moisissures. Enfin, une variété de sorgho à floraison groupée, indépendamment de sa précocité, limite les possibilités de multiplication de la cécidomyie *C. sorghicola* et réduit donc les attaques de grains d'année en année en diminuant les niveaux d'infestation.

● Agir sur la densité et la structure du peuplement végétal

En général, les fortes densités de plantation procurent de meilleures conditions de développement pour les ravageurs, alors qu'elles nuiraient au développement ou à l'installation de certaines maladies²⁶. Mais ce n'est pas toujours le cas. Les infestations de jassides du cotonnier ainsi que la sévérité de leurs dégâts sont souvent réduites avec des fortes densités. De même, lorsque des infestations modérées de *H. armigera* sont rencontrées, l'incidence de leurs dégâts sur la production peut être limitée par la pratique de fortes densités. Enfin, toujours à propos du cotonnier, des densités de plantation trop fortes peuvent augmenter les pourritures de capsules dans les régions très humides.

L'aspect d'une culture, qui peut être modifié par la structure géométrique du peuplement végétal, change son attraction vis-à-vis de certains ravageurs (cf. le chapitre 423). Cet aspect est déterminant dans la colonisation de la culture du chou par le puceron *Brevicoryne brassicae* Linnaeus et de la culture de rave par la piéride *Pieris rapae* Linnaeus. Il importe donc pour chaque culture de déterminer la densité optimale de plantation pour bénéficier au mieux des effets favorables sur une ou plusieurs nuisances majeures sans affecter négativement les potentialités de la culture. Ce choix doit être compatible avec la faisabilité des interventions sur la culture en particulier son entretien.

24 Respectivement *Geromya penniseti* Felt, les cicelles brunes et *H. armigera*.

25 Cas du ver rose du cotonnier *Pectinophora gossypiella* Saunders.

26 Cas du *Verticillium* sur cotonnier ou de la rosette sur arachide.

● Pratiquer des rotations de cultures adaptées²⁷

La rotation des cultures peut être un moyen de limiter certaines nuisances, surtout transmises par le sol²⁸. Le principe consiste à créer des conditions défavorables au déroulement sur la même parcelle des cycles successifs d'un pathogène ou d'un ravageur en introduisant, dans la succession, des cultures sur lesquelles il est incapable de proliférer. En général, il faut pour cela cultiver en alternance des plantes de familles botaniques différentes. Cependant certains agents nuisibles peuvent, à l'image des graines de striga, rester dans le même sol plusieurs années avant d'être détruits : cas des nématodes pour les cultures de maïs. Des rotations longues sont alors nécessaires mais elles sont rarement adoptables par les agriculteurs.

● Utiliser la diversité végétale du milieu

L'espace agricole est souvent caractérisé par la juxtaposition d'une grande diversité de cultures et de plantes sauvages entre lesquelles des migrations de déprédateurs et d'auxiliaires peuvent exister. Ces migrations sont parfois bénéfiques aux cultures. Cela a été de nombreuses fois évoqué à propos des haies vives en milieu tempéré : elles détournent très probablement une partie de la faune nuisible vers des espèces non cultivées mais plus certainement elles renforcent le rôle des auxiliaires au sein des cultures. En général, les populations d'auxiliaires existant au sein des formations ligneuses présentent en effet des fluctuations d'effectif plus faibles que celles présentes dans les cultures.

Il a également été noté que l'enherbement des parcelles pouvait parfois limiter les populations de ravageurs : cela a été notamment observé sur des populations de coccinelle mexicaine ou de jassides dans des champs de pomme de terre. Mais cette dernière pratique ne peut être recommandée que si elle ne nuit pas aux productions (cf. le chapitre 435).

Il est fréquent de rencontrer, dans le même espace agricole, des cultures qui possèdent des ravageurs communs mais qui ne bénéficient pas des mêmes niveaux de protection contre les insectes²⁹. La présence de cultures non traitées ralentit alors l'acquisition de résistance chez les ravageurs communs en diluant les gènes de résistance aux matières actives insecticides par brassage des populations. En conséquence, les matières actives utilisées sur les cultures traitées sont efficaces plus longtemps.

Certains ravageurs peuvent accomplir leur développement sur des hôtes différents de la plante cultivée que l'on désire protéger de leurs attaques.

²⁷ Cf. chapitre 423.

²⁸ Essentiellement les maladies cryptogamiques et les nématodes.

²⁹ Cotonnier et maïs par exemple.

Il est alors possible de les utiliser comme plantes pièges pour épargner la culture en procédant de deux façons :

- > soit cultiver la plante piège en même temps que la culture et bénéficier d'une attraction préférentielle de cette plante : cas du maïs pour *Anoplocnemis curvipes* Fabricius ravageur du niébé ou d'une crotalaire vis-à-vis de *Maruca testulalis* Geyer qui ravage aussi les cultures de niébé ;
- > soit cultiver plus tôt cette plante et détruire les ravageurs sur cette plante après leur installation³⁰. À la limite, on utilise parfois la plante cultivée en la semant plus tôt pour attirer certains ravageurs et les détruire³¹.

Enfin, le pouvoir répulsif de plantes à l'égard de certains ravageurs peut être utilisé pour protéger une culture : cas de *Chromolaena odorata* pour les crabes dans les rizières, branches d'un arbre appelé Patulang contre la punaise *Leptocorisa acuta*³² du riz et de plantes aromatiques telles que l'ail ou la ciboulette dans les cultures de légumes.

● Associer les cultures³³

La pratique des associations de cultures entraîne des modifications micro-climatiques qui peuvent nuire à certains ravageurs ou favoriser les populations d'auxiliaires (les parasites mais surtout les prédateurs) qui contiendront mieux les infestations de ravageurs. C'est le cas de l'association maïs-patate douce vis-à-vis des chrysomèles *Diabrotica balteata*³⁴ et de la pyrale *Ostrinia furnicalis*³⁵, de l'association maïs-niébé vis-à-vis de *Busseola fusca*³⁶ et *S. calamistis*, de l'association manioc-niébé vis-à-vis des thrips ou encore de l'association maïs-arachide qui favorise les lycosides, araignées prédatrices.

Par ailleurs, une espèce cultivée peut jouer un rôle de barrière physique et empêcher la colonisation de l'autre espèce cultivée par ses déprédateurs habituels pendant la durée de la cohabitation. Ce phénomène a été observé à propos des jassides lorsque le cotonnier est mis en place dans des parcelles de maïs peu avant sa récolte et pour d'autres jassides sur légumineuses en culture intercalaire avec du maïs. De la même façon, les attaques de *A. curvipes* sur niébé sont réduites lorsque les parcelles sont entourées de plants de maïs.

Il convient cependant d'être prudent dans le choix des espèces ou variétés associées, car la virulence de certains déprédateurs peut parfois être accrue. C'est le cas dans les mélanges de variétés de sorgho qui, en ayant des périodes de floraison différentes, augmentent la pression de la cécidomyie *C. sorghicola*. L'étalement de la période reproductive du sorgho lui permet, en effet, de multiplier ses cycles sur la même parcelle.

30 Cas des hibiscus pour les chenilles d'*Earias* sp et peut être de *H. armigera* ravageurs du cotonnier.

31 Cas du riz pour réduire les infestations de cicadelles brunes.

32 Thunberg.

33 Cf. chapitre 423.

34 LeConte.

35 Guénée.

36 Fuller.

● Agir directement sur les nuisances sans moyen biologique ou chimique

Face à de nombreuses maladies de cultures pérennes³⁷, pour lesquelles on ne dispose pas de variétés ou de porte-greffes résistants, la seule méthode de lutte ou de limitation de leur propagation consiste à détruire des plants ou des organes atteints puis, souvent, à les incinérer. Cette pratique est mise en œuvre également pour des maladies de cultures annuelles, même si parfois des variétés résistantes sont disponibles³⁸ dans les régions où ces maladies ne sont pas très importantes.

Des exemples de destruction des ravageurs existent également. Le labour et le sarclage peuvent détruire directement certains ravageurs ou les ramener à la surface du sol et les exposer ainsi aux effets du soleil et à l'action de divers prédateurs. Le labour peut ainsi détruire des alises de la pomme de terre, des pyrales sur le riz et des terriers à rats. L'inondation des rizières après la récolte peut également réduire les infestations de certaines pyrales. Cette exposition est pratiquée manuellement avec les oeufs de *Zonocerus variegatus*³⁹.

La destruction des résidus de récolte dans lesquels certains ravageurs accomplissent un ou plusieurs stades de développement réduit les infestations futures pour de nombreux ravageurs⁴⁰. Mais on peut aussi agir directement en cours de culture lorsque le coût de la main-d'œuvre n'est pas un facteur limitant : interventions sur cocotier vis-à-vis des crabes et des rynchophores, sur cotonniers vis-à-vis de *H. armigera* et d'autres chenilles en particulier phyllophages⁴¹, dans les plantations de manguiers avec un filet pour capturer les adultes d'*Othreis fullonia*⁴² ou sur le riz vis-à-vis des pyrales.

● Supprimer les supports des parasites et ravageurs au niveau de la culture

Cela n'est pas toujours possible car les supports des nuisances sont souvent les parties productives de la culture. Mais dans certains cas, des actions de ce type peuvent être mises en œuvre. Ainsi, en étêtant les cotonniers avant la fin de la campagne⁴³, on supprime les lieux privilégiés de ponte de *H. armigera* dont les infestations sont fortes en fin de campagne. De même, pour limiter les dépôts de miellat sécrétés par *Aphis gossypii*⁴⁴ ou *Bemisia tabaci*⁴⁵, on pourra défolier les cotonniers en fin de campagne avant que ces ravageurs produisent leurs effets. Pour le cacaoyer on pratique fréquemment un égourmandage pour réduire les infestations de mirides en supprimant des lieux privilégiés de développement de ces ravageurs. Enfin, on recèpe les plants de pyrèthre lorsqu'ils sont atteint de ramulariose qui nécrose les hampes et les boutons floraux.

37 Une maladie virale du cacaoyer ou la trachéomycose du caféier.

38 Maladie bleue, virescence et mosaïque du cotonnier.

39 Linnaeus.

40 Cas de *B. fusca* dans les tiges de maïs.

41 *Spodoptera littoralis* Fabricius ou *Syllepta derogata* Fabricius.

42 Clerck.

43 Pas trop tôt pour ne pas nuire au potentiel de production des plants.

44 Glover.

45 Gennadius.

● Les méthodes biologiques de protection

Ces méthodes concernent essentiellement les ravageurs contre lesquels on utilise soit des insectes utiles soit des entomopathogènes⁴⁶. Elles sont en général sélectives, n'affectent pas ou peu la faune auxiliaire, ne changent pas ou peu le statut d'autres ravageurs que ceux visés, sont peu toxiques et inoffensives pour l'environnement. Cependant, elles peuvent être coûteuses, souvent lentes et de courte durée dans leurs effets et parfois incompatibles avec d'autres mesures de protection destinées à combattre d'autres ravageurs que ceux visés par ces méthodes. Elles nécessitent souvent d'intervenir sur des stades précis (jeunes en général) d'un ravageur pour être efficaces et exigent parfois des conditions particulières de stockage et d'application.

De plus, bien que biologiques ces méthodes peuvent parfois présenter des risques écologiques. Ainsi, lorsque leur spectre d'action est insuffisamment connu, des espèces utiles peuvent être affectées ou éliminées : ce fut le cas d'un lépidoptère introduit pour lutter contre des adventices qui fut décimé par des introductions de trichogrammes destinées au contrôle d'autres ravageurs. Des résistances à certaines préparations biologiques, comme celles contenant des toxines de *Bacillus thuringiensis* Berliner, peuvent également apparaître. Par des flux géniques, certains microorganismes utilisés en lutte biologique peuvent perdre leurs qualités ou en acquérir d'autres pouvant se révéler néfastes. Enfin, l'efficacité de certains agents de lutte biologique peut être compromise par l'existence d'autres espèces qui occupent la même niche écologique.

Malgré une très grande diversité d'auxiliaires pour la plupart des cultures, les exemples d'utilisation sont relativement peu nombreux même s'ils peuvent parfois concerner des surfaces importantes. Les plus souvent cités se réfèrent aux lâchers de trichogrammes contre certains borers dans les cultures de riz, contre *H. armigera* dans des parcelles de cotonniers ou de tomates ou contre *B. fusca* ou *O. furnicalis* dans les champs de maïs. La production de ces hyménoptères parasites peut être réalisée dans de grandes unités mais aussi à l'échelle de l'exploitation familiale comme cela est fait dans certains pays d'Asie. Le lâcher est toujours inondatif : plusieurs centaines de milliers d'oeufs parasités sont déposés à l'hectare, sur des petits supports légers que l'on répartit dans le champ en les accrochant le plus souvent sur la plante. Cette opération peut parfois être renouvelée plusieurs fois pendant la campagne pour en augmenter l'efficacité.

D'autres exemples d'utilisation d'auxiliaires concernent d'autres parasites et des prédateurs comme les coccinelles pour lutter contre les cochenilles du cocotier ou du palmier-dattier, le braconide *Apanteles flavipes*, parasite du borer de la canne à sucre *Chilo sacchariphagus sacchariphagus*⁴⁷ et une punaise *Oecanthocon furcellata*⁴⁸, pour contrôler les infestations de *H. armigera* dans les cultures de cotonniers. Mais, l'utilisation de ces entomophages repose souvent sur leur introduction à partir d'autres régions du monde et doit pour réussir bénéficier d'un ensemble de conditions favorables rarement faciles à réunir.

46 Entomopathogène : organisme (bactérie, champignon, virus... qui peut provoquer une maladie chez l'insecte ravageur.

47 Bojer.

48 Wolff.

Deux principaux types d'agents entomopathogènes sont utilisés : les baculovirus et les bacilles de *B. thuringiensis*⁴⁹. En effet, dans la pratique, il y a peu d'utilisation d'autres agents entomopathogènes : une granulose contre une chenille du manioc *Erinnyis ello*⁵⁰, des bactéries du genre *Serratia*, un champignon *Beauveria* pour lutter contre le ver blanc de la canne à sucre.

● Les baculovirus

Ils provoquent des maladies appelées polyédroses qui détruisent complètement certaines chenilles. Les préparations de baculovirus, à base de cadavres de chenilles infectées, sont épandues comme des insecticides chimiques. Elles peuvent être fabriquées en récoltant des chenilles virosées dans les cultures⁵¹ ou à partir d'élevages d'une espèce sensible, comme le font certaines sociétés phytosanitaires. Ces préparations ont longtemps été sensibles à l'action des ultra-violets et des pH alcalins. Ces défauts ont été en partie corrigés mais la fréquence d'application de ces préparations doit encore être élevée pour atteindre une certaine efficacité. Des préparations commerciales sont actuellement employées avec quelques succès sur certaines cultures tropicales comme le soja contre *Anticarsia gemmatilis*⁵² ou le cotonnier contre *H. armigera* et quelques *Spodoptera* sp. Mais il existe un plus grand nombre d'applications de ces formulations à base de baculovirus sur des cultures de milieu tempéré.

● Les toxines de *B. thuringiensis*

Elles agissent également après ingestion. Contrairement aux baculovirus, leur champ d'application ne se limite plus au seul ordre des Lépidoptères. Certaines toxines affectent des diptères⁵³ et d'autres des coléoptères. La production de ces toxines est réalisée par des sociétés phytosanitaires car elle nécessite des moyens importants. Les préparations s'épandent comme des insecticides chimiques et sont relativement efficaces. Cependant, des résistances à ces toxines sont déjà rapportées.

Avec ces insecticides biologiques qui agissent par ingestion, la mort de la cible n'intervient pas immédiatement après application comme le font la plupart des insecticides chimiques. Le ravageur peut encore, pendant quelques jours, provoquer des dégâts. Plus les stades visés du ravageur sont juvéniles, plus ces préparations sont efficaces. Une surveillance attentive des infestations doit donc accompagner l'emploi de ces méthodes de protection. Enfin, ces préparations provoquant des maladies chez les ravageurs, tout procédé qui contribuera à les affaiblir renforcera leur action. Ainsi des synergies (ou potentialisations) ont été montrées lorsqu'on leur ajoute de très faibles doses d'insecticides chimiques.

Il y a peu d'utilisation d'agents biologiques comme méthode de lutte contre les maladies cryptogamiques ou bactériennes.

49 Il en existe différentes souches.

50 *Linnaeus*.

51 Cette méthode est appropriable par les agriculteurs.

52 Hübner.

53 *Aedes aegypti* Linnaeus vecteur de la fièvre jaune.

● L'emploi d'attractifs

Les phéromones sexuelles sont des substances émises par un insecte⁵⁴ pour attirer l'individu de sexe opposé. Elles sont spécifiques à chaque espèce. Le plus souvent les phéromones sexuelles ne sont pas utilisées comme moyen direct de protection des cultures, mais pour surveiller ou prévoir les infestations d'une culture par un ravageur. Elles sont cependant parfois employées pour perturber les accouplements chez une espèce et réduire en conséquence les infestations. Mais cela ne donne des résultats satisfaisants que lorsque l'accouplement a lieu uniquement au sein de la culture⁵⁵. Elles peuvent aussi être employées pour capturer en masse les individus d'une espèce et les détruire au niveau des lieux de capture⁵⁶. Cela est réalisé pour le charançon du cotonnier⁵⁷ en Amérique du Sud.

En dehors des attractifs sexuels, on utilise aussi divers types d'appâts (souvent alimentaires) pour attirer certains ravageurs et pouvoir ainsi les détruire plus facilement sur le lieu de leur piégeage (cas de nombreux rongeurs et des escargots).

● L'utilisation raisonnée des pesticides

Lorsque toutes les alternatives à la lutte chimique ne permettent pas de contenir une nuisance, on a recours aux pesticides. Mais cela ne se justifie que si les dégâts que pourrait provoquer cette nuisance sont économiquement plus importants que les coûts engendrés par l'intervention chimique. Si les coûts directs de l'intervention sont en général assez faciles à estimer, les coûts indirects le sont beaucoup moins en raison de la diversité des effets des pesticides. Leur utilisation peut en effet faire apparaître d'autres nuisances : destruction de l'équilibre existant, augmentation de la résistance du nuisible aux matières actives utilisées pour le combattre, modification de la biodiversité, risques pour la santé humaine et l'environnement.

La définition d'un seuil économique pour une nuisance dépend d'un grand nombre de facteurs en interaction : la plante cultivée, le potentiel local de rendement, les cours des produits de la culture, les coûts de l'intervention et les effets attendus du nuisible. Ceux-ci dépendent de la dynamique probable du nuisible, fonction du climat et du stade de développement de la plante et des conditions de culture. Le seuil de nuisibilité varie dans le temps alors qu'il est très souvent nécessaire dans la pratique de définir un seuil d'intervention valable dans une large gamme de conditions.

Une bonne estimation de la nuisance probable à un moment donné requiert l'utilisation de techniques d'échantillonnage adéquates à l'échelle de la parcelle pour estimer l'effectif de ravageurs ou la nuisance elle-même (les dégâts occasionnés). Des études de répartition spatiale ainsi que de solides connaissances pour prévoir à partir d'un état initial l'évolution d'une nuisance en l'absence d'intervention sont nécessaires.

54 Le mâle ou la femelle.

55 Cas du ver rose du cotonnier : *P. gossypiella*.

56 Par adjonction d'un insecticide.

57 *Anthonomus grandis grandis* Boheman.

La lutte étagée ciblée (LEC) : un exemple de lutte chimique raisonnée

En culture cotonnière en Afrique francophone, après plusieurs décennies de lutte chimique conseillée, la lutte étagée ciblée est le premier programme de lutte chimique raisonnée à être mis au point et adopté par les agriculteurs.

La technique d'application Bas Volume (10 litres/ha) actuellement utilisée par les producteurs africains de coton a permis de lever certaines contraintes liées à l'emploi de formulations huileuses appliquées en Ultra Bas Volume (UBV = 1 à 3 litres/ha de produit commercial prêt à l'emploi). L'utilisation de formulations CE, outre le fait de générer une diminution du coût des spécialités phytosanitaires d'environ 20 %, a permis de moduler les choix de matières actives à appliquer en fonction des ravageurs présents. Elle rend également possible le mélange extemporané de plusieurs produits commerciaux et permet donc de développer des nouvelles stratégies de lutte.

Au départ, la lutte étagée ciblée correspond à un besoin de traiter moins, mais de protéger mieux le cotonnier de ses ravageurs que dans les programmes vulgarisés antérieurement en Afrique francophone. Elle permet également une adaptation aux conditions locales du parasitisme comme de la production. Généralement, trois groupes de ravageurs sont pris en compte : les pucerons, la chenille phyllophage *S. derogata* et les chenilles de la capsule. Ce choix est lié à la facilité d'observation des symptômes d'attaque des deux premiers, tandis que la prise en compte des chenilles des capsules, qui constituent la principale source des pertes de production, est incontournable.

Le principe de mise en œuvre de la LEC le plus souvent retenu consiste à appliquer au cotonnier une protection de base, assurée par un programme de 5 à 6 pulvérisations, dans lequel une formulation binaire (pyréthrinéoïde + organo-phosphoré) est appliquée à une dose réduite, mais suffisante pour contrôler les éléments secondaires du parasitisme (punaises, chenilles à régime endocarpique). Une semaine après chaque application calendaire, on réalise des observations sur 25 plantes choisies au hasard dans la diagonale de la parcelle. Si, au cours de cet échantillonnage, on totalise cinq plantes ou plus attaquées par *S. derogata* ou cinq chenilles carpophages, on applique aussitôt la formulation insecticide en forme binaire. Un aphicide spécifique sera utilisé si, lors de cette observation, on dénombre au moins vingt plantes attaquées par des colonies de pucerons. Pour lutter à la fois contre chenilles et pucerons, on associe les deux types d'insecticides. Pour faciliter l'obtention et l'interprétation des résultats, on utilise parfois une planchette perforée sur laquelle une cheville mobile permet d'indiquer au fur et à mesure du déplacement de l'observateur le nombre de plantes observées et les ravageurs comptabilisés.

Il existe d'autres variantes de la LEC selon les pays, tant le faciès parasitaire du cotonnier est complexe et virulent, mais le principe reste le même : passer d'un mode de protection où les applications sont réalisées selon un calendrier préétabli à une modalité nouvelle, où les interventions sont raisonnées en fonction de la pression parasitaire. Il existe de nombreux freins au développement de la LEC : type de parasitisme, formation des acteurs, mise à disposition et facturation des intrants. Elle a cependant connu des développements importants sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares dans un certain nombre de pays : Cameroun, Mali, Bénin.

Dans ces pays, les résultats sont très encourageants : une efficacité très satisfaisante, des économies monétaires très significatives (de 40 à 50 %) pour les utilisateurs et un meilleur respect de l'environnement.

L'utilisation raisonnée des pesticides repose également sur d'autres règles. Dans le choix des pesticides, on opte pour ceux ayant à la fois une action sélective, le moins d'effets secondaires néfastes sur les auxiliaires et l'environnement et les moins toxiques pour la santé humaine. De plus, ce choix tient compte des stratégies développées pour éviter ou retarder tout phénomène d'acquisition par l'agent nuisible de résistance aux pesticides. Pour la même raison et afin de limiter l'ampleur des effets secondaires (cas d'un sur-dosage), la dose d'utilisation du pesticide doit correspondre aux recommandations.

Enfin, on doit agir au moment où l'agent responsable de la nuisance est le plus sensible au pesticide choisi et utiliser des équipements adaptés et en bon état de fonctionnement, en respectant les précautions d'utilisation.

Le traitement de semences avec des pesticides est souvent employé pour limiter l'incidence d'une nuisance. Cette pratique ne peut réellement être considérée comme une mesure de protection intégrée que dans les situations où, par expérience sur plusieurs campagnes, on estime suffisante l'importance d'une nuisance (par exemple pour les fontes de semis ou la maladie bleue du cotonnier).

Enfin, les pesticides d'origine végétale, appelés bio-pesticides, peuvent être employés, mais dans les mêmes conditions que les pesticides de synthèse au regard des principes de la protection intégrée. Certains de ces pesticides ont une action fongicide (extrait de feuilles de papayer ou de moringa), d'autres ont des propriétés insecticides ou acaricides : acore odorant, annones, pyrèthre, neem, pourghère. Leurs applications pratiques les plus fréquentes concernent la protection des denrées stockées.

● **Les autres technologies**

Depuis quelques années, certaines biotechnologies permettent d'insérer dans le génome des plantes cultivées des gènes exogènes d'intérêt agronomique. Parmi ceux de première génération qui sont déjà utilisés sur des cultures, certains codent pour des toxines de *Bacillus thuringiensis*, permettant à la plante de présenter une résistance à certains bio-agresseurs (notamment des insectes appartenant aux ordres des Lépidoptères). Plusieurs cultures, à base de plantes génétiquement modifiées, sont conduites de par le monde sur de très grandes surfaces. C'est par exemple le cas du cotonnier. Si l'efficacité de cette technologie est reconnue jusqu'à maintenant, les premiers phénomènes de résistance des ravageurs-cibles aux gènes d'intérêt sont avérés. Il convient donc de considérer cette technique comme un des outils de la protection intégrée, à utiliser à bon escient, en complément des autres techniques utilisées ; mais en aucun cas, l'emploi de plantes génétiquement modifiées ne peut être considéré comme la seule façon de lutter contre des ravageurs ou des maladies.

● **La gestion des organismes prédateurs par la protection intégrée**

À travers les exemples précédents, on constate que pour les principaux organismes responsables de nuisances, il est possible de mettre en œuvre un ensemble varié de méthodes conçues dans le cadre d'un développement durable des agro-systèmes.

Le principal principe sur lequel s'appuie la démarche de protection intégrée est d'associer de manière raisonnée à des caractères de résistance ou de tolérance de la plante aux bio-agresseurs, des méthodes de lutte culturales, biologiques ou, si nécessaire, chimiques.

Dans la pratique, pour atténuer l'incidence des maladies cryptogamiques ou bactériennes, on associe le plus souvent à l'emploi de variétés résistantes, tolérantes ou présentant une pseudo résistance à travers certaines caractéristiques agronomiques un ensemble de mesures culturales⁵⁸ et une utilisation raisonnée de pesticides.

⁵⁸ Choix du site, destruction des résidus de récoltes, éradication de plants ou organes atteints, rotations culturales, choix d'un matériel végétal indemne, choix des dates de semis, fumure équilibrée, etc.

Vis-à-vis des maladies virales ou mycoplasmaïques, outre la destruction des plants atteints lorsque leur nombre n'est pas trop important et l'emploi d'un matériel végétal sain, les mesures de protection intégrée reposent sur la culture de variétés résistantes ou sur des mesures de protection intégrée contre les agents vecteurs des maladies.

Pour les nématodes, c'est essentiellement à travers les rotations de cultures que leur incidence peut être réduite car peu de variétés résistantes existent et la lutte chimique, souvent onéreuse, ne peut être considérée actuellement comme une pratique de protection intégrée.

Contre les insectes et les acariens, de nombreuses combinaisons de méthodes de protection intégrée sont possibles : profiter au mieux des facteurs naturels de limitation des populations, cultiver une variété résistante, utiliser un matériel végétal sain, mettre en œuvre des pratiques culturales qui améliorent les capacités de résistance de la culture et limitent la pression des ravageurs en favorisant ou non le rôle des auxiliaires, détruire manuellement certains stades des ravageurs ou certains hôtes alternatifs, introduire des agents biologiques de lutte contre les ravageurs, intervenir avec des moyens chimiques spécifiques, peu toxiques et ayant un minimum d'effets secondaires lorsque les seuils économiques sont dépassés. Dans les cas les plus simples, cette protection intégrée associe des pratiques culturales à une utilisation raisonnée des pesticides, sans oublier la résistance variétale lorsqu'elle existe.

Il est important de toujours raisonner la compatibilité des méthodes qu'on souhaite combiner sur la même parcelle.

L'UTILISATION DES PESTICIDES

À savoir

De nombreux pesticides sont en voie d'interdiction au sein de l'Union européenne⁵⁹. Cette législation est complexe et distingue les pesticides⁶⁰ et les biocides⁶¹. Les lecteurs sont invités à consulter le site Internet de la Commission européenne⁶². Des informations sur papier sont également publiées, en français, dans l'Index phytosanitaire ACTA⁶³. On peut enfin consulter le site de l'Agence américaine de l'environnement⁶⁴.

Certains sites Internet donnent des informations sur la gestion des pesticides :

- politique de la commission européenne en matière d'utilisation des pesticides dans les pays en voie de développement⁶⁵ ;
- banque de données pesticides pour l'Asie financée par la Commission européenne et réalisée par le consortium IPHYTROP et l'ESCAP⁶⁶ ;
- références techniques de la plupart des pesticides sur le site de l'Agence de l'environnement américaine⁶⁷.

59 Directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991, Conseil européen, 2001.

60 Directive 91/414, Conseil européen, 2001.

61 Directive 98/8, Parlement européen, 2001.

62 Eur-Lex, 2002.

63 ACTA, 2001 ; ACTA, 2002.

64 EPA, 2002 b.

65 PAN, 2002.

66 FADINAP, 2001.

67 EPA, 2002 a.

● Les principales familles d'insecticides et acaricides

Ces molécules peuvent être d'origine minérale, végétale ou issues d'une synthèse chimique. Cette dernière catégorie est actuellement la plus utilisée en agriculture. La plupart des substances sont des neuro-toxiques⁶⁸. Elles provoquent une hyperactivité générale, perturbent les mouvements comme l'alimentation et entraînent des tremblements, des convulsions aboutissant à la paralysie et à la mort de la cible. D'autres substances agissent sur les mécanismes respiratoires⁶⁹. Enfin, un dernier groupe interfère avec les processus de mue des arthropodes⁷⁰.

Toutes ces substances pénètrent dans la cible soit par contact, soit par ingestion, soit par inhalation mais certaines d'entre elles peuvent pénétrer par deux ou trois voies différentes. Depuis que la plupart des organo-chlorés sont interdits d'utilisation ou retirés de la vente, les plus importantes familles d'insecticides et acaricides sont actuellement les organo-phosphorés, les carbamates et les pyréthriinoïdes. En général, les substances d'une même famille ont le même type d'action.

● Les organo-phosphorés

Ces molécules qui contiennent un atome de phosphore sont en général des neuro-toxiques mais certaines ont une action ovicide. Il existe une grande variabilité de structure au niveau des molécules, à l'origine d'une grande diversité de propriétés et de comportement dans le sol et les plantes. Ainsi c'est la seule famille dans laquelle on trouve des insecticides⁷¹, des acaricides⁷² et des nématicides⁷³. Indépendamment du fait que l'augmentation de la dose d'utilisation d'une substance élargisse son spectre d'action⁷⁴, certains organo-phosphorés sont efficaces sur plusieurs espèces⁷⁵ alors que d'autres sont beaucoup plus sélectifs⁷⁶.

En général les organo-phosphorés insecticides sont employés contre les insectes piqueurs suceurs⁷⁷, les coléoptères, les chenilles phyllophages et les acariens. Certaines substances telles que la phosalone préserveraient mieux la faune auxiliaire⁷⁸. Des organo-phosphorés qui présentent une faible toxicité sont utilisés dans le traitement des denrées stockées⁷⁹. Par contre d'autres sont très toxiques et nécessitent des mesures importantes de précaution lors de leur emploi⁸⁰ et ils sont d'ailleurs actuellement interdits de vente dans de nombreux pays.

Certains organo-phosphorés sont solubles dans des solvants organiques et non dans l'eau, alors que d'autres sont hydrosolubles⁸¹ ; d'autres sont complètement insolubles⁸²

68 Avermectines, carbamates, cyclodiènes, formamidines, organo-phosphorés, organo-chlorés et pyréthriinoïdes.

69 Roténone, cyhexatin, sulfonates, arsenicaux.

70 Acyl urées, benzol urées, azadiracthine, benzhydrazides, dérivés des pyridines, méthoprène.

71 Fenitrothion.

72 Triazophos.

73 Isazophos ou l'éthrophos.

74 Profénofos.

75 Parathion et dichlorvos.

76 Diméthoate.

77 Incluant les thysanoptères.

78 Coccinelles, chrysopes et les hyménoptères parasites.

79 Malathion, pyrimiphos méthyl.

80 Azyphos éthyl, méthyl parathion, avermectines.

81 Acéphate.

82 Tétrachlorvinphos.

dans ces deux catégories de solvants. En fonction des doses mais surtout des conditions d'utilisation (surdosage) certaines molécules peuvent être phytotoxiques⁸³. En ce qui concerne leur devenir dans le sol ou sur le végétal, les organo-phosphorés sensibles à l'hydrolyse sont rapidement détruits alors que les autres peuvent parfois persister plusieurs mois. On les classe d'après leur comportement vis-à-vis de la plante : on distingue ceux qui restent à la surface du végétal⁸⁴ de ceux qui sont dotés d'un pouvoir de pénétration dans les plantes et sont véhiculés par la sève⁸⁵. Du fait de ces variations de propriétés entre molécules, les organo-phosphorés sont employés dans de nombreux usages agricoles : traitement des sols, pulvérisation foliaire, traitement des denrées stockées et traitement des semences.

● Les carbamates

Les carbamates insecticides et acaricides⁸⁶ sont pour la plupart des dérivés de l'acide carbamique. Si quelques carbamates sont utilisés comme analogues de l'hormone de mue⁸⁷ et d'autres ont une efficacité ovicide⁸⁸, ce sont en général des neurotoxiques qui agissent comme les organo-phosphorés. Les symptômes de l'intoxication chez la cible sont très légèrement différents et apparaissent beaucoup plus rapidement qu'avec les organo-phosphorés. Cependant, au niveau de la cible et dans la plante, ces molécules sont plus rapidement absorbées, détoxifiées⁸⁹ et éliminées. Ainsi, il a été observé des cas de récupération après une période de paralysie. Comme pour les organo-phosphorés, en raison de la diversité des molécules existantes et des propriétés, il existe de multiples possibilités d'utiliser les carbamates en agriculture. Cependant, ils sont principalement employés pour le traitement des sols et des semences.

Certains⁹⁰ sont peu toxiques alors que d'autres⁹¹ nécessitent plus de précautions dans leur utilisation. Certains carbamates ont un très large spectre d'action : l'aldicarbe est doté de propriétés insecticides, acaricides et nématocides et le carbofuran agit sur les insectes, les myriapodes et les nématodes. Mais ces substances sont aussi très toxiques pour l'homme. Le carbaryl est actif contre de nombreux lépidoptères et coléoptères et quelques insectes piqueurs suceurs, sauf les pucerons. On lui reproche de favoriser les acariens. Le pyrimicarbe est un aphicide efficace qui épargnerait la faune auxiliaire. Les carbamates pénètrent dans la cible essentiellement par contact et par ingestion. Seul le carbofuran est cité pour agir par inhalation. De nombreuses molécules sont dotées de propriétés systémiques : aldicarbe, carbofuran, carbosulfan, furathiocarbe et méthomyl. Plus rarement elles sont translaminaires⁹². Enfin certaines peuvent être phytotoxiques lorsqu'elles sont mal employées⁹³.

81 Acéphate.

82 Tétrachlorvinphos.

83 Monocrotophos.

84 Triazophos.

85 Action systémique : profénofos.

86 Aucun n'étant considéré comme uniquement acaricide.

87 Fenoxycarb.

88 Méthomyl.

89 Par hydrolyse et oxydation.

90 Carbaryl, fenoxycarb.

91 Méthomyl, aldicarbe.

92 Pyrimicarbe.

93 Carbofuran.

● Les pyréthrinés et les pyréthrinoides

Le pyrèthre est un végétal connu depuis très longtemps pour ses propriétés insecticides. Les substances actives sont contenues dans les inflorescences de plantes du genre *Chrysanthemum*⁹⁴ que l'on pulvérise après les avoir fait sécher. Ces substances appelées pyréthrinés sont au nombre de six. Elles confèrent les propriétés insecticides et sont à l'origine de l'effet de prostration⁹⁵ réversible caractéristique de cette famille de molécules. Pour limiter la destruction des pyréthrinés au niveau de la cible, on leur adjoint un synergiste (pyperonyl butoxide le plus souvent) dans la plupart des formulations. En raison de leur grande efficacité, les pyréthrinés ont longtemps été utilisées en agriculture contre de nombreuses espèces de ravageurs : pucerons, charançons, jassides, thrips et lépidoptères. Mais c'est surtout dans le domaine de la santé publique qu'elles sont employées en raison de leur faible toxicité vis-à-vis des mammifères et de leur faible rémanence.

En partant du modèle chimique des pyréthrinés, des synthèses ont permis d'obtenir des molécules appelées pyréthrinoides à la fois plus photostables et plus efficaces. En plusieurs générations, des matières actives très photostables (quelques semaines), à plus large spectre d'action (la bifenthrine est active contre les pucerons et les lépidoptères) et très efficaces, même à des doses très faibles (quelques grammes par hectare) ont été créées. Leur faible toxicité pour les mammifères⁹⁶ est surtout due à leur faible dose d'utilisation et au fait que les produits de dégradation apparaissent relativement vite, sont peu toxiques et ne sont pas accumulés dans les graisses. En revanche, tous les pyréthrinoides sont très toxiques pour les animaux à sang froid (notamment les poissons). Cette toxicité est renforcée par la lenteur de la dégradation des pyréthrinoides en condition anaérobies. De même, on a souvent noté des effets négatifs des pyréthrinoides sur les abeilles.

Les pyréthrinoides les plus employés actuellement diffèrent notablement des pyréthrinés naturelles par leurs propriétés physiques et chimiques. Presque tous les pyréthrinoides sont lipophiles et pratiquement insolubles dans l'eau. Ils sont pour la plupart peu volatiles alors que certaines pyréthrinés l'étaient. Les exceptions peu nombreuses sont l'alléthrine, la prothrine et la vaporthrine utilisées contre les moustiques. Ils ne sont pas systémiques. Ainsi les pyréthrinoides sont surtout des insecticides de contact, peu efficaces par ingestion et ne peuvent pas être inhalés.

L'efficacité des pyréthrinoides dépend de la température : en général, ils sont plus actifs à températures basses qu'à températures élevées. Cela permet de comprendre l'élargissement du spectre d'action de certains pyréthrinoides lorsqu'ils sont utilisés en milieu tempéré comparativement au milieu tropical : beaucoup de pyréthrinoides sont aphicides en milieu tempéré mais ne le sont pas en milieu tropical où ils employés presque exclusivement contre les chenilles de lépidoptères. Les pyréthrinoides peuvent dans certains cas provoquer une répulsion (cas des insectes volants) et modifier le comportement des arthropodes (phago-inhibition et inhibition de la ponte). Depuis leur emploi à grande échelle au début des années 80, des résistances sont apparues chez certaines espèces dans quelques régions du monde (*H. armigera* en Thaïlande en particulier). Enfin aucun pyréthrinotide utilisé dans des conditions normales n'a provoqué de symptôme de phytotoxicité.

94 *C. cinerariaefolium* est l'espèce commerciale cultivée.

95 Abattement ou *knock down*.

96 Qui varie en fonction du solvant.

● Les organo-chlorés

Il s'agit d'une famille où l'on trouve le DDT, encore utilisé pour lutter contre les vecteurs du paludisme, et ses dérivés. La plupart des organo-chlorés sont interdits du fait de leur persistance et des risques d'accumulation dans les sols, les tissus végétaux et les graisses animales. Quelques utilisations sont encore tolérées (diénochlorure, endosulfan), mais le contrôle de leur statut réglementaire est indispensable avant toute utilisation ou recommandation.

● Les principales familles de fongicides

Les traitements fongicides sont le plus souvent préventifs, mais ils peuvent parfois être éradicants s'ils interviennent dès l'apparition des symptômes, curatifs lorsqu'ils sont réalisés après le développement du parasite⁹⁷ ou antisporulants pour limiter la propagation de la maladie. Les fongicides sont employés en pulvérisation des parties aériennes ou en traitement des semences, des sols ou des denrées stockées.

Les fongicides peuvent être d'origine minérale ou organique. Les antibiotiques sont souvent interdits d'utilisation. Tous les fongicides d'usage agricole ont une action directe sur le parasite car les fongicides à action indirecte (après transformation dans la plante) sont en général phytotoxiques⁹⁸. Les modes d'action des fongicides sont beaucoup plus variés que ceux des insecticides ou des herbicides. La plupart des fongicides (plus de 80 %), comme le manèbe qui empêche la germination des spores, peuvent agir sur plusieurs sites au niveau du parasite de sorte qu'ils sont en général peu spécifiques et n'induisent pas de résistance. Les autres, qui ont une action sur un seul site, sont plus spécifiques et des cas de résistance ont déjà été notés.

Les fongicides peuvent être détruits par la lumière (chloranil), l'eau en fonction du pH, le dioxyde de carbone, l'oxygène et les microorganismes. Leur durée de vie dans le sol est extrêmement variable : demi-vie de trois à quatre jours pour le captane et jusqu'à 365 jours pour le bénomyl. Les fongicides ne s'accumulent pas dans les organes à faible transpiration (grains en particulier), ce qui constitue un avantage en matière de toxicologie. Comme pour les insecticides, les fongicides peuvent être systémiques⁹⁹ alors que d'autres ne circulent pas dans la plante et auront une action limitée aux parties traitées. En fonction de la dose d'utilisation et de la qualité de la préparation, certains fongicides peuvent être phytotoxiques.

● Les fongicides minéraux

Dans cette famille, on trouve l'un des plus anciens fongicides connus : la bouillie bordelaise. Les composés à base de cuivre, qui agissent au niveau des spores sur les mécanismes biochimiques de la respiration, permettent de limiter une infection mais ne l'éradiquent pas. Différents types de bouillies ont pour base, comme la bouillie bordelaise, le sulfate de cuivre : bouillie bourguignonne et bouillie Ibadan. En fonction de la dose d'utilisation, elles peuvent être phytotoxiques sur certaines plantes cultivées (plantes maraîchères). En raison de leur préparation et parfois de leur stockage délicats, on leur préfère les suspensions aqueuses d'oxychlorure de cuivre, bien qu'elles soient moins rémanentes.

97 Peu fréquents : bénomyl, metalaxyl.

98 Avec les exceptions de l'éthylphosphite d'aluminium contre les mildioux et du probenazole contre la pyriculariose du riz.

99 Mais ce ne sont pas les plus nombreux.

Les produits à base de soufre, également d'une utilisation très ancienne¹⁰⁰ ont une action préventive¹⁰¹, surtout contre les oïdiums, mais ne peuvent pas être utilisés si la température atteint 30°C car ils deviennent phytotoxiques. Certaines formulations à base de soufre peuvent être dotées de propriétés acaricides.

D'autres fongicides inorganiques à base de métaux lourds (mercure, zinc, chrome) ont été employés par le passé mais sont actuellement bannis dans presque tous les pays en raison de leur très forte toxicité.

● Les fongicides organiques

Peut être en raison de la diversité des modes d'action, il existe de très nombreuses familles de fongicides d'origine organique. Quelques unes seront présentées ci dessous.

● Les carbamates

C'est une famille très importante de fongicides.

- > *les dérivés de l'acide carbamique et les benzimidazoles* (carbendazime, benomyl, thiabendazole) peuvent être dotés de propriétés systémiques. En raison de leur mode d'action, de nombreux cas de résistance (en particulier au benomyl) et de résistance croisée sont signalés. En général ces molécules sont très peu toxiques ;
- > *certaines dérivés de l'acide thiocarbamique* peuvent être très proches des substances précédentes par les métabolites actifs qui se forment à l'intérieur du végétal ;
- > *les dérivés de l'acide dithiocarbamique* (zirame, zinèbe, manèbe, mancozèbe, mancopper, cuprobame, ferbame) et également *dérivés des thiurames* (thirame, carbatène) ont donné de nombreux fongicides. Ils sont presque tous non phytotoxiques, de spectre d'action assez large : le zirame est utilisé à la fois contre les rouilles, les anthracoses et les cercosporioses et le métam-sodium est parfois employé comme fongicide, herbicide ou nématicide. Ils sont en général faiblement toxiques. Cependant certaines de ces molécules donneraient des produits de dégradation (thiourée) cancérogènes et mutagènes. Le zinèbe et le manèbe se conservent mal en milieu tropical.

● Les dérivés du benzène et du phénol

Les molécules dérivées du benzène sont en général très peu toxiques. Mais leur dégradation est parfois lente et elles peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux (cas du PCNB ou quintozène). Ces dérivés sont employés en traitement des semences ou des sols mais aussi contre certaines maladies foliaires (cercosporioses et rouilles).

Il y a peu de fongicides dérivés du phénol. Ces molécules (dinocap et binapacryl) présentent une spécificité d'action contre les oïdiums. Le dinocap non systémique et non phytotoxique est peu rémanent. Le binapacryl est acaricide.

● Les quinones

Ces molécules (chloranil, dichlone et dithianon) ont un large spectre d'action et sont très peu toxiques.

100 Soufre en fleur, soufre jaune sublimé, trituré ou ventilé, soufre micronisé, soufre noir précipité brun ou gris, soufre mouillable.

101 Par contact et par vapeur si la température dépasse 20°C.

● **Les dicarboximes**

Ces fongicides très peu toxiques sont en général polyvalents (captane). Parmi les dicarboximes les plus connues, outre le captane, on peut citer le captafol, l'iprodione ou le folpel.

● **Autres familles de fongicides**

Parmi les familles de produits riches en fongicides on peut citer les amines et amides (carboxine, mépronil, oxycarboxine, forméthane, métalaxyl), les diazines (éthirimol), les sulfamides (tolyfluanide), les guanidines (doguadine), les hétérocycles divers avec en particulier les imidazoles (étridiazole, prochloraze), les organo-phosphorés (édifenphos) et les triazoles (penconazole). De nombreuses autres familles ne contiennent que quelques molécules fongicides, comme les phénoxyquinoléines, les pipéridines ou les pyridines.

● **La réglementation de l'utilisation des pesticides**

S'il est indéniable que les pesticides ont permis de grands progrès dans le domaine de l'agriculture et celui de la santé humaine, leur utilisation n'est malheureusement pas sans risque. En dehors de leur détournement pour des usages inappropriés (en particulier pour combattre les poux, pour la pêche ou la chasse ou encore pour la conservation des poissons), l'utilisation de pesticides entraîne un certain nombre de problèmes. En effet, ils peuvent être à l'origine d'intoxications chroniques ou aiguës plus ou moins graves¹⁰², s'accumuler dans la chaîne alimentaire ou rester à l'état de résidus encore toxiques sur des produits consommables par l'homme ou les animaux, contaminer l'eau, l'air et le sol et modifier le fonctionnement des écosystèmes.

Une législation et une réglementation sont donc nécessaires pour la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de pesticides. Elle doit garantir aux agriculteurs efficacité et absence de risque d'intoxication. Pour le public et les consommateurs, les dispositions législatives et réglementaires visent à éviter toute exposition dangereuse aux pesticides et à fournir des produits de consommation contenant le moins possible de résidus toxiques. Les fabricants de pesticides ont également besoin de mesures fixant des normes de qualité pour les pesticides et permettant de retirer du marché les produits qui ne les respectent pas.

De nombreux pays développés ont adopté depuis longtemps une réglementation détaillée. Des autorités désignées homologuent les pesticides pour des périodes données sur la base de contrôles et d'un certain nombre d'informations que doivent fournir le fabricant ou l'importateur. Ces informations concernent des données chimiques, toxicologiques, biologiques et environnementales. Certaines d'entre elles doivent figurer (en utilisant parfois des pictogrammes) sur l'étiquette présente sur l'emballage ou le contenant d'un pesticide : son nom, le nom commun de la ou des matières actives, les caractéristiques de son homologation, le nom et l'adresse du fabricant, les conditions de stockage, les premiers soins à donner en cas d'intoxication, les champs d'application (cultures et nuisances visées), les directives d'utilisation (période d'utilisation en particulier par rapport à la récolte), les mauvaises utilisations (cultures et nuisances impropres à son utilisation), les limites de garantie fixées par le fabricant,

¹⁰² Chez l'agriculteur qui traite comme chez le consommateur final.

de durée de la période après traitement nécessitant que les personnes soient protégées lorsqu'elles pénètrent dans l'aire traitée et les risques physiques ou chimiques (risque d'explosion et inflammabilité en particulier).

La plupart des pays en développement n'ont pas encore de réglementation aussi complète. S'ils peuvent utiliser les informations données précédemment pour un pesticide car elles sont facilement disponibles, ils doivent néanmoins se doter d'autorités compétentes pour apprécier l'intérêt d'agréer un produit, variable selon les contextes.

Le code de conduite de la FAO

Des textes internationaux existent également : l'un des premiers documents, le PIC (Prior Informed Consent), est encore en vigueur à travers le code de conduite de la FAO pour la distribution et l'utilisation des pesticides, adopté en 1985 par 100 pays et amendé en 1989 pour contenir son règlement¹⁰³. Ce code est composé de douze articles dont huit, fixant les responsabilités de chacun, traitent du bon emploi des pesticides, d'une bonne information de l'utilisateur (en particulier adaptée à son niveau de connaissance), de la nécessité d'une évaluation de leurs effets à tous les niveaux (expérimentations associées à la formation), des mesures à prendre pour limiter les risques pour la santé humaine, des nécessaires procédures d'homologation dans chaque pays, du commerce et de la distribution de ces produits, des obligations en matière d'étiquetage, de conditionnement, de stockage, de vente et de publicité.

Ce règlement prévoit qu'un pays ne peut exporter un pesticide interdit, d'utilisation restreinte ou sévèrement réglementée dans plusieurs pays que s'il transmet toutes ces informations au pays importateur et que celui décide néanmoins son importation. Pour cela, la FAO et le PNUE¹⁰⁴ préparent un DGD (Decision Guide Document) pour tout pesticide entrant dans cette catégorie ou appartenant à la catégorie Ia (extrêmement toxique) de l'OMS¹⁰⁵ ou encore dont la production a cessé. Ce DGD contient toutes les informations relatives à ce pesticide. Il est adressé au pays importateur. Si le pays importateur adhère au code de conduite, il doit désigner une autorité compétente (souvent le service de la protection de végétaux) qui est responsable des tâches liées à ce code et dispose de 90 jours après réception du DGD pour faire connaître sa décision quant à l'importation du pesticide. Cette décision est ensuite transmise par la FAO et le PNUE à tous les autorités compétentes des pays adhérant au code de conduite de la FAO.

Le code de la FAO s'applique également aux groupements régionaux de nations qui peuvent y ajouter des dispositions supplémentaires.

● **Le traitement des intoxications par les pesticides**

Les pesticides peuvent pénétrer dans le corps humain par la peau, les voies respiratoires et le tube digestif et sont souvent à l'origine d'intoxications. Trois éléments vont principalement déterminer la gravité de l'accident : la toxicité des matières actives et des autres constituants de la formulation, la quantité pénétrant dans le corps humain et la durée de l'exposition. Les symptômes d'intoxication peuvent être aigus (provoqués par une dose unique et élevée), subaigus (dus à l'action répétée de doses plus faibles) ou chroniques (engendrés par un contact régulier avec des doses trop faibles pour agir seules). De nombreux pesticides provoquent des irritations de la peau, des yeux et des muqueuses respiratoires qui, si elles sont répétées, entraînent des

103 Consultable sur le site de la FAO : www.fao.org.

104 Programme des Nations-Unies pour l'environnement.

105 Organisation mondiale de la santé.

maladies graves. Enfin, des allergies indépendantes de la dose sont également attribuables aux pesticides. Leur gravité dépend des réactions individuelles aux substances en cause.

● Les principaux symptômes d'intoxication

En fonction de la gravité et du type d'intoxication (aiguë, sub-aiguë ou chronique), des groupes de substances (en particulier les rodenticides) et même des substances à l'intérieur d'un même groupe, les symptômes sont différents. Cependant, quel que soit le groupe de substances, il existe quelques symptômes communs à la plupart des intoxications aiguës lorsqu'elles sont légères : céphalées, nausées, vomissements et douleurs abdominales. Lorsque les intoxications aiguës sont plus sévères, les symptômes deviennent plus spécifiques.

Avec certains pesticides, on note une salivation et une sudation accrues (organo-phosphorés et carbamates), une soif anormale, une sensation de fièvre (composés dinitro-phénoliques) ou au contraire une baisse de température (dithiocarbamates) à la suite d'intoxications légères à graves. Des symptômes de faiblesse allant d'une simple anémie jusqu'à des vertiges, une perte de connaissance ou de conscience sont également observés. Le système digestif peut également être affecté : cela se manifeste par de simples coliques accompagnées de diarrhées jusqu'à des troubles sérieux du fonctionnement du foie et des reins ou des ulcérations de la gorge et de l'œsophage. Au niveau du système musculaire et en lien avec une atteinte du système nerveux, les troubles qui apparaissent se traduisent par des douleurs, des engourdissements, des contractures, des raideurs, des tremblements (organo-chlorés), des difficultés à parler ou à marcher (organo-phosphorés et carbamates), des troubles de coordination et, dans les cas les plus graves, des convulsions, parfois généralisées, et l'asphyxie.

Certaines lésions peuvent toucher le système nerveux et le cerveau dans le cas d'intoxications chroniques. On note parfois des modifications du comportement de la personne intoxiquée qui peut ressentir un manque d'appétit (intoxications chroniques), des bourdonnements d'oreille, des troubles de la vision, mais la personne intoxiquée peut connaître aussi des périodes de grande anxiété, de nervosité (organo-chlorés), d'hypersensibilité ou d'hyperémotivité ou à l'inverse aussi des moments d'hébétude ou d'apathie (organo-phosphorés, carbamates et dithiocarbamates). Les affections de la peau peuvent être de simples irritations (pyréthrinoïdes), des rougeurs, une coloration jaune (composés dinitro-phénoliques), des dermites, des exanthèmes ou une dépigmentation (aryloxyacides).

Les voies respiratoires sont également souvent touchées : une irritation peut entraîner une toux, un rhume, des obstructions nasales, des allergies qui provoquent des crises d'asthme, des brûlures, des expectorations sanglantes, une fibrose (ammoniums quaternaires) ou un œdème pulmonaire (composés phénoliques). Les atteintes des systèmes musculaire et nerveux peuvent également accélérer la respiration et des tendances à l'asphyxie apparaissent avec certaines intoxications provoquées par des insecticides (organo-phosphorés et carbamates). Enfin, au niveau cardiaque et vasculaire, des troubles peuvent être notés : chute de la tension artérielle, palpitations, arythmie (dithiocarbamates), tachycardie et même altérations du myocarde (composés dinitro-phénoliques).

Avec les rodenticides, les symptômes d'intoxication sont spécifiques et ils se manifestent par des ecchymoses, la présence de sang dans l'urine et les selles, des hémorragies au niveau des gencives ou du nez¹⁰⁶ et même du cerveau ou d'autres organes, conduisant en général à une très grande faiblesse du malade et parfois à l'état de choc ou au coma.

Les intoxications chroniques avec certaines substances peuvent provoquer des tumeurs ou bien avoir des effets cancérogènes, mutagènes, tératogènes ou toxiques pour les embryons.

● **Le diagnostic de l'intoxication**

Lors d'une intoxication par des pesticides il est important d'établir le plus rapidement possible un diagnostic qui comporte les éléments suivants : la nature du pesticide¹⁰⁷, la quantité à l'origine de l'intoxication, les voies de l'intoxication, la durée et le moment de l'intoxication, les premiers soins déjà apportés et les causes de l'intoxication. L'observation de symptômes caractéristiques pourra aider à l'établissement de ce diagnostic quant à la nature du pesticide à l'origine de l'intoxication. Dans certains cas, l'analyse des urines peut être un indicateur précis de la nature d'une intoxication.

● **Les premiers soins**

Il faut en premier lieu soustraire le malade du lieu de l'intoxication et le mettre dans des conditions qui lui permettent de retrouver une respiration régulière et un pouls normal. Si sa peau est entrée en contact avec le pesticide, il convient de le dévêtir, de le laver à grande eau savonneuse et de bien nettoyer ses cheveux et ses ongles. On évite d'utiliser des solvants (essence en particulier) ou de frotter énergiquement car l'absorption par la peau du pesticide peut s'en trouver favorisée. Lorsque les yeux ont été contaminés, en maintenant les paupières bien ouvertes, on les rince suffisamment longtemps avec un jet d'eau (exclusivement) doux et continu avant de nettoyer les paupières avec un tissu humide pour ôter les résidus.

Dans le cas d'une intoxication des voies respiratoires, le malade doit être placé dans un endroit aéré et frais (si cela est possible) et on lui ôte tous les vêtements qui peuvent gêner sa respiration. Le bouche-à-bouche peut être pratiqué dans le cas de difficultés respiratoires : le malade est alors allongé sur le dos, la nuque pliée en arrière (au besoin en utilisant des vêtements), on lui ouvre bien la bouche en écartant les maxillaires et on lui insuffle de l'air en prenant soin de tenir son nez fermé. Quinze à vingt insufflations par minute sont suffisantes pour un adulte alors qu'il en faut trente pour un enfant. Pour des substances très toxiques, il est conseillé d'utiliser une canule buccale pour l'insufflation.

Si l'intoxication a eu lieu par voie orale, il faut tenter immédiatement de faire vomir le malade souvent en lui faisant absorber de l'eau (ou un sirop d'ipéca pour les organo-chlorés) : on place le malade sur le ventre en maintenant la tête en dessous du reste du corps et on l'aide à vomir en introduisant un doigt qui vient toucher l'arrière de la gorge. On attend patiemment chaque fin vomissement pour être certain que les voies respiratoires ne sont pas être contaminées par les vomissures. Ces gestes sont répétés jusqu'à ce que les vomissures ne contiennent plus de pesticide.

106 Observé aussi avec des ammoniums quaternaires.

107 Matières actives en cause et formulation : concentration en matières actives et autres composants.

Si le toxique est soluble dans l'eau, il s'avère judicieux d'administrer au malade du charbon actif (sans surdosage) qui fixe le toxique au niveau du tube digestif et sera ensuite éliminé après l'ingestion d'un purgatif non huileux (sulfate de soude par exemple). Le charbon actif peut être préparé localement (technique de préparation du charbon de bois) à partir de copeaux de bois ou de croûtes de pain réduits en poudre à la fin du processus. Si un état de choc est noté à la suite d'une intoxication, le malade est placé au calme dans un position allongée avec les jambes en haut pour une meilleure irrigation sanguine du cerveau et du cœur. Enfin, si des convulsions apparaissent, il faut éviter que le malade se blesse lui-même en particulier en lui passant un tissu entre les dents qui réduit les risques de morsure de la langue.

● Les soins médicaux spécialisés

Les soins décrits par la suite nécessitent souvent des compétences médicales et parfois même un matériel particulier. Avant d'évoquer l'utilisation d'antidotes spécifiques qui ne sont d'ailleurs pas très nombreux, il convient de présenter les pratiques du massage cardiaque et du lavage d'estomac.

● *Le massage cardiaque*

Après avoir placé le malade sur le dos, le sauveteur en posant ses mains l'une sur l'autre sur le tiers inférieur du thorax appuie sur celui-ci de l'une des mains (à raison d'une poussée toutes les minutes après les dix premières qui devront être plus rapides) en dosant son geste pour ne pas briser les côtes du malade. Ce massage cardiaque est souvent couplé avec un bouche-à-bouche (deux insufflations après quinze poussées) surtout si deux sauveteurs sont présents.

● *Le lavage d'estomac*

Des équipements particuliers sont nécessaires : un tube trachéique (parfois), un tube stomacal et un dispositif pour aspirer le contenu de l'estomac (pompe mécanique douce ou grande seringue reliée à un adaptateur). L'introduction des tubes peut être facilitée par l'emploi de glycérine ou d'un gel adapté. La première aspiration a pour but de vider l'estomac de tout son contenu et les suivantes sont destinées à le laver en faisant ingurgiter de l'eau (ou un sérum physiologique).

● *L'emploi d'antidotes*

Il faut toujours assurer au malade une bonne oxygénation avant d'administrer un antidote, surveiller et maintenir la respiration pendant l'injection en pratiquant au besoin une respiration artificielle.

Dans le cas d'une intoxication avec des organo-phosphorés (sauf pour le diméthoate), il convient d'injecter par voie intraveineuse du sulfate d'atropine au malade : 2 à 4 mg toutes les 10 à 20 minutes et jusqu'à 30 mg en général pendant les premières 24 heures pour voir apparaître des symptômes d'atropinisation (pupilles dilatées, bouche sèche et tachycardie). Les injections continueront parfois pendant plusieurs jours (dix jours) au cours desquels le malade sera sous surveillance constante. Pour réactiver la cholinestérase, on injecte au patient toujours par voie intraveineuse une préparation d'oximes (pralidoxime ou obioxime) à une dose appropriée au malade (selon la préparation de 0,25 g à 1 g pour l'adulte et de 5 à 50 mg par kilogramme de poids corporel chez les enfants), mais jamais sans un traitement avec le sulfate d'atropine.

Il convient aussi de bien respecter les prescriptions car, en cas de surdosage, la toxicité des organo-phosphorés s'accroît. Si ces injections produisent des effets, elle peuvent être renouvelées toutes les heures ou toutes les deux heures suivant la préparation mais pas au delà de 24 heures après la première injection car les possibilités de réactivation de la cholinestérase disparaissent progressivement. L'anxiété qui apparaît parfois à la suite d'une intoxication avec des organo-phosphorés peut être combattue par l'injection intramusculaire de diazepam. Enfin, dans le cas d'intoxications subaiguës ou chroniques, certains médicaments homéopathiques se sont révélés efficaces.

Pour les intoxications avec des carbamates, le sulfate d'atropine peut également être utilisé mais sans préparation d'oximes (qui rendrait les carbamates plus toxiques) et uniquement si les symptômes, souvent passagers, persistent ou s'avèrent très graves. Contre les dithiocarbamates, on ne connaît pas d'antidote spécifique et il convient uniquement de traiter les symptômes.

Il en est de même pour les organo-chlorés qui peuvent provoquer des convulsions combattues par l'injection intramusculaire ou intraveineuse lente de diazepam (10 mg pour l'adulte et 0,1 mg par kg de poids corporel chez l'enfant), d'un barbiturique à action rapide (par exemple le penthiobarbital à raison de 5 mg par kg de poids corporel toutes les 2 à 4 heures) ou encore l'administration de gluconate de calcium (1,1 à 1,5 ml par kg de poids corporel trois fois par jour). Lors de la convalescence, un régime pauvre en graisses permet d'éliminer plus rapidement les résidus.

Pour les intoxications aux pyréthrinoïdes, il n'y a pas non plus d'antidote spécifique et le traitement des symptômes repose pour les intoxications par voie orale sur l'emploi d'anticonvulsants comme pour les intoxications à base d'organo-chlorés ou de sédatifs tels que le diazepam. On préconise parfois du charbon actif mais les pyréthrinoïdes étant peu solubles dans l'eau, l'efficacité de cette mesure est faible.

En ce qui concerne les herbicides, qu'il s'agisse de composés phénoliques, d'ammoniums quaternaires ou d'aryloxyacides, on ne connaît pas d'antidote. Pour les ammoniums quaternaires (ou bipyridyls), en raison des risques graves entraînés par une intoxication surtout si elle est orale (mort rapide dans certains cas), il convient de pratiquer immédiatement un lavage d'estomac en ajoutant de la terre de Fuller (0,15 %) et un purgatif adéquat (par exemple le mannitol) à l'eau de lavage. En prévention de la fibrose pulmonaire, on peut administrer des corticostéroïdes tels que la prednisone (deltacortisone) pendant quelques jours avant l'apparition des lésions pulmonaires.

Pour les intoxications avec des composés phénoliques, des traitements comparables à ceux mis en oeuvre pour celles avec des organo-chlorés sont appliqués mais on veille à refroidir le corps par des bains froids, une bonne ventilation ou l'application sur le corps de tissus renfermant de la glace. D'autre part, le malade qui est placé dans un calme absolu peut recevoir des tonicardiaques, des fortifiants cardiovasculaires (analeptiques), des sédatifs et un traitement spécifique contre l'oedème pulmonaire.

Pour les intoxications avec des fongicides, qu'il s'agisse de phtalimides ou de dithiocarbamates, on ne connaît pas non plus d'antidote spécifique et on combattra uniquement les symptômes.

Pour les intoxications orales à base de rodenticides à action anti-coagulante, les vomissements et le lavage d'estomac ne sont efficaces que dans les trois premières heures après l'absorption. Ces intoxications sont traitées par la suite avec la prise de vitamines K_1 qui rétablit les propriétés coagulantes du sang. Selon la gravité de l'intoxication cette prise se fera par voie orale ou par injection intramusculaire ou intraveineuse : absorption de 5 à 10 mg, répétée au besoin 6 heures plus tard si l'intoxication est légère ou de 10 à 20 mg au besoin répétée deux à trois heures plus tard si elle est plus grave. Le traitement sera poursuivi tant que la coagulation de sang ne sera pas redevenue normale mais on ne dépassera pas 40 mg par jour.

La récolte, le stockage et la première transformation

À partir des contributions de J.F Cruz (CIRAD), P. Dimanche (CIRAD), M.N. Ducamp-Collin (CIRAD), G. Fliedel (CIRAD), J. Joas (CIRAD), J.L. Marchand (CIRAD), C. Mestres (CIRAD), F. Troude (CIRAD)

LE SYSTÈME APRÈS RÉCOLTE DES CÉRÉALES

Les grains produits par les céréales (on s'intéresse ici au maïs, mil, sorgho, riz et fonio) sont récoltés une fois (parfois deux) dans l'année, mais utilisés tout au long de l'année, essentiellement, en milieu tropical, pour l'alimentation humaine. Ils doivent donc être conservés pendant plusieurs mois ou même plusieurs années. Un grain de qualité doit être sec, propre (absence d'impuretés) et sain (absence de mycotoxines¹, d'insectes ou de résidus de pesticides).

Diverses techniques concourent à l'obtention de cette qualité, qui seule permet une conservation de longue durée.

● *Les techniques de récolte et la qualité des produits*

● **La récolte**

Pour les céréales, la récolte peut intervenir lorsque la maturité physiologique est atteinte, mais elle est le plus souvent postérieure à ce stade, de façon à permettre au grain de commencer à sécher (préséchage au champ). Pour récolter dans de bonnes conditions, l'humidité du grain doit être inférieure ou égale à 25 % pour le riz et le maïs, 22 % pour le sorgho.

En Afrique, la récolte reste quasi exclusivement manuelle pour les céréales sèches. Elle est parfois mécanisée pour le riz dans les périmètres irrigués, avec des moissonneuses-batteuses, propriété d'entrepreneurs privés ou de groupements de paysans. Du matériel lourd existe aussi pour le maïs ou le sorgho, mais leur prix de revient élevé en réduit l'intérêt.

Au moment de la récolte, le grain peut être sain ou déjà altéré par des insectes² ou des moisissures produisant parfois des mycotoxines³.

1 Mycotoxine : toxine produite par un champignon.

2 Charançons du maïs, punaises des panicules du sorgho.

3 Aflatoxine ou fumonisine du maïs par exemple.

● Le battage

Le battage (ou l'égrenage pour le maïs) est l'opération qui consiste à séparer les grains de l'organe de la plante qui les porte. Souvent précédé d'un préséchage, il est traditionnellement effectué au pilon pour le mil et le sorgho et à la main pour le maïs. Mais cette opération pénible fait de plus en plus souvent appel à des machines, actionnées manuellement ou par un moteur.

Les petites égreneuses à maïs ne peuvent être utilisées que sur des épis *épanouillés* (débarassés de leurs enveloppes externes), à la main ou à l'aide d'une *épanouilleuse*⁴. Les égreneuses manuelles, entraînées par un volant, une pédale ou un petit moteur, ont des capacités de quelques dizaines à quelques centaines de kilos/heure. Il en existe de nombreux modèles. L'égreneuse mécanique Bamby, de Bourgoïn, entraînée par la prise de force d'un tracteur ou un moteur indépendant, a un débit de l'ordre de deux tonnes par heure, et assure aussi un prénettoyage des grains.

Les batteuses SISMAR et Bamba

Différents modèles de machines ont été étudiés pour le battage du mil, puis adaptés au sorgho :

- la batteuse SISMAR au Sénégal⁵ qui permet d'obtenir 700 à 800 kg de mil ou une tonne de sorgho par heure ;
- la batteuse Bamba (Bourgoïn), dérivée de l'égreneuse à maïs Bamby, qui a un débit de 400 à 500 kg/h de mil, et peut (en modifiant le système de battage et les grilles de nettoyage) être utilisée pour le maïs, le sorgho, le soja et le riz. Elle est donc particulièrement intéressante pour les zones de polyculture de céréales.

C'est pour le battage du riz que les modèles sont les plus nombreux. Suivant leur conception, on distingue les batteuses :

- > *classiques*, avec des batteurs à doigts qui absorbent la paille et les grains et qui sont en général des modèles européens de gros gabarit (400 à 2 000 kg/h) ;
- > à *paille tenue* (la paille ne passe pas dans le batteur) avec des batteurs à boucles : modèles à pédales sans contre-batteur et sans systèmes de nettoyage ; rendement de 100 à 150 kg/h avec trois personnes ; modèles asiatiques de petit gabarit (100 à 1 000 kg/h) nécessitant un alignement des panicules à la mise en meule ;
- > *type Votex*, qui absorbent pailles et grains, et dont le batteur réalise un léger nettoyage (500 à 800 kg/h) ;
- > *type IRRRI* : rotative, à tambour, à écoulement axial.

La plupart des batteuses sont entraînées par des moteurs thermiques ou par les tracteurs. Le nettoyage est effectué soit par les batteurs soit par des machines spécifiques : nettoyeurs-séparateurs ou tarares.

● Les pertes après-récolte

Elles peuvent se produire au cours des différentes phases du système post-récolte : récolte, manutention, battage, séchage, stockage et transformation des produits. Le tableau 1 fournit une estimation des pertes après récolte sur le riz en Asie du Sud-Est.

⁴ Par exemple Tonga de Bourgoïn.

⁵ Entraînée par un moteur de 40 CV.

On peut noter que les pertes dues au stockage sont du même ordre de grandeur que celles dues à la mauvaise manutention des grains, au battage ou à l'usinage.

Les pertes ou dégradations des grains peuvent être dues à :

- > un stockage de grains insuffisamment secs ;
- > un système de stockage mal ventilé ;
- > une humidité de l'air trop élevée ;
- > une chaleur excessive à l'intérieur de la zone de stockage, due à une mauvaise isolation ou à l'activité des grains ;
- > une mauvaise protection contre les rongeurs ou les insectes ;
- > un stockage de grains cassés, éraflés ou mêlés à des impuretés.

Des moyens de lutte existent, qui permettent de minimiser les pertes. Cependant, l'utilisation de l'un ou l'autre de ces moyens n'est pas toujours justifiée d'un point de vue économique et il est parfois difficile de convaincre les petits agriculteurs d'engager des dépenses pour limiter les pertes.

Tableau 1: Pertes après récolte de riz en Asie du Sud-Est⁶

Opération	Fourchette de pertes pondérales (pourcentage)
Récolte	1 – 3 %
Manutention	2 – 7 %
Battage	2 – 6 %
Séchage	1 – 5 %
Stockage	2 – 6 %
Transformation (usinage)	2 – 10 %
Total	10 – 37 %

● La stabilisation et le stockage

Parmi les céréales, certaines (riz, fonio) donnent après battage des grains *vêtus*, qui ont conservé leurs glumelles, d'autres (maïs, mil, sorgho) des grains *nus*, déjà séparés des glumelles. Ces enveloppes, lorsqu'elles sont présentes, améliorent considérablement la protection du grain. Les grains sont composés, outre les glumelles des grains vêtus (enlevés par le décortiquage) :

- > *d'un péricarpe*, qui protège la graine et ralentit les échanges avec l'extérieur, qu'il faudra enlever avant la consommation par l'homme : ce sera le décortiquage des grains nus, ou le blanchiment des grains vêtus ;
- > *de l'albumen*, organe de réserve qui occupe la plus grande partie de l'intérieur du grain. C'est cet albumen, constitué surtout d'amidon et d'un peu de protéines, qui est consommé tel quel (cas du riz) ou après mouture pour le transformer en farine ou semoule ;
- > *du germe*, organe de reproduction, riche en huile et en vitamines. Il est donc préférable de le conserver, mais il est nécessaire de l'éliminer (*dégérmage*) pour produire des farines qui ne rancissent pas au cours de leur conservation.

⁶ Source : D.B. DEPADUA. Cité par CRUZ 1986. *Le stockage des grains*. BIT, dossier technique n° 11, 121 p.

● Les mécanismes de dégradation

Les grains sont des organismes vivants, des semences, qui respirent au cours du stockage. Cette activité provoque une perte de matière sèche (dans ce cas l'amidon) tout en produisant du gaz carbonique, de l'eau (sous forme de vapeur) et de la chaleur. Ce phénomène, d'autant plus intense que le grain est humide, provoque une forte élévation de température, le développement de micro-organismes tels que les moisissures et finalement la prise en masse des grains.

Pour assurer une bonne conservation des produits, il faut donc limiter au maximum cette respiration en agissant sur les principaux facteurs internes d'altération des grains, essentiellement l'humidité et la température. Un bon stockage doit aussi limiter les pertes et dégradations occasionnées par les prédateurs tels que les insectes et les rongeurs.

● L'humidité

L'humidité est le facteur de dégradation le plus important. Elle favorise la respiration des grains et accentue en conséquence le dégagement de chaleur au sein des grains stockés. Il est généralement admis que le dégagement de chaleur double pour chaque accroissement de 1,5 % d'humidité du grain et donc que la durée probable de conservation d'un stock est diminuée de moitié. Les altérations sont accentuées par le fait que les grains humides favorisent le développement des micro-organismes présents à la surface du grain.

Le tableau 2 donne, pour différents produits, la teneur en eau qui ne doit pas être dépassée en zone tropicale, pour une température du stock de 25 à 35°C, afin d'éviter les risques de développement des moisissures au cours du stockage.

Tableau 2 : Humidité maximale recommandée pour le stockage des grains en régions chaudes

Produit	Teneur en eau (pourcentage)
Maïs	13 %
Paddy	13-14 %
Riz cargo	13 %
Sorgho	12,5-13 %
Mil	15 %
Blé	13 %

Pour un stockage prolongé, portant sur plusieurs années, des humidités inférieures à celles préconisées au tableau ci-dessus doivent être retenues.

● La température

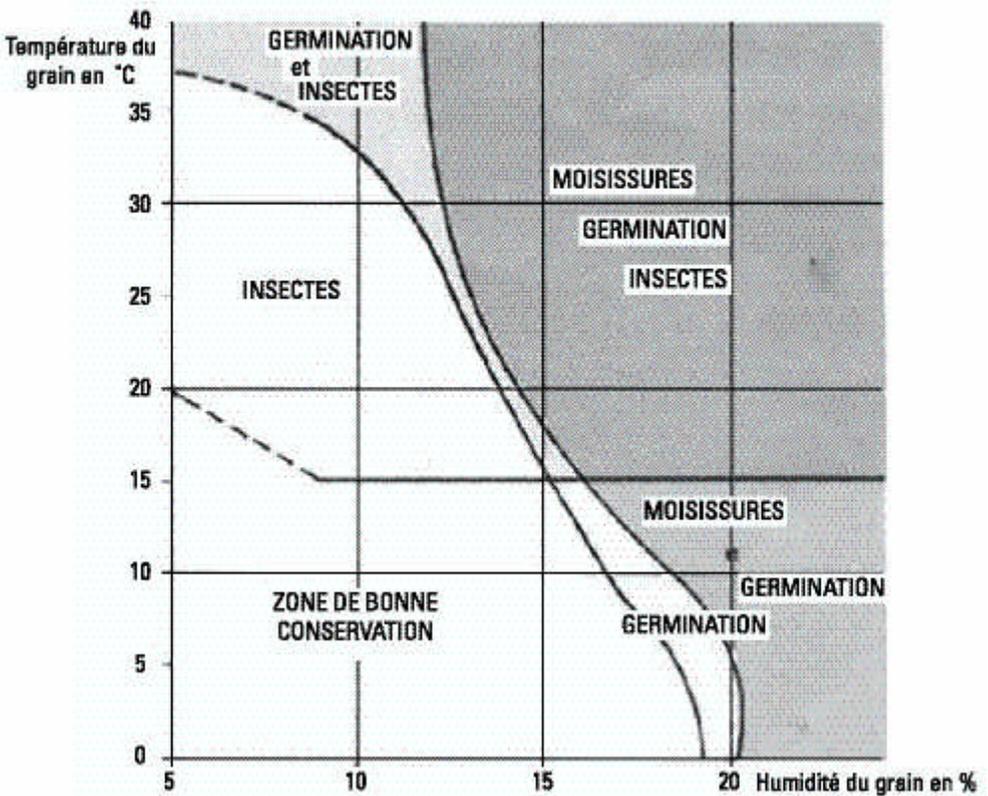
Elle joue un rôle important dans la conservation des grains car elle conditionne leur vitesse de dégradation en accélérant la vitesse des réactions chimiques et enzymatiques ainsi que la respiration. Une augmentation de température se traduit par un dégagement de chaleur au sein de la masse des grains qui double pratiquement pour chaque élévation de 5°C de la température, ceci jusqu'à environ 28°C (au-delà l'effet diminue). La durée probable de conservation d'un stock est ainsi diminuée de moitié lorsque la température des grains augmente de 5°C.

Le niveau des températures atteintes est important à considérer : le pouvoir germinatif des semences de céréales est totalement altéré si l'on dépasse environ 40°C.

La température agit aussi indirectement sur les stocks en favorisant le développement des micro-organismes et des insectes. En effet, dans les régions tropicales, les stocks sont souvent à des températures qui correspondent à leurs conditions optimales de croissance.

● **La température et l'humidité**

Les facteurs température et humidité sont étroitement liés. Les courbes d'équilibre hygroscopique air-grain indiquent en effet que plus la température est élevée, plus l'humidité du produit doit être faible pour assurer une bonne conservation. Le diagramme de conservation des céréales établi par Burgess et Burrel (cf. figure 1) donne les différents types d'altérations possibles, en fonction de la température et de l'humidité. Ce diagramme permet de vérifier, par exemple, que du grain à une teneur en eau de 15 % et stocké à une température de 25°C va présenter des risques de développement d'insectes et de moisissures alors que s'il est stocké à cette même température, mais à une humidité de 12,5 %, il est seulement exposé aux attaques d'insectes.



➤ Figure 1 : Le diagramme de conservation des céréales (Burgess et Burrel)

● **La composition des gaz du milieu**

La respiration des grains stockés dans une structure étanche appauvrit l'atmosphère interstitielle en oxygène et l'enrichit en gaz carbonique. Cette modification de la composition des gaz du milieu peut bloquer le développement des moisissures et détruire les insectes présents. Ce principe est appliqué dans les méthodes de stockage souterrain (fosses) pratiquées de manière traditionnelle. Cependant, si les grains sont emmagasinés avec une humidité excessive, des risques de fermentation apparaissent et donnent lieu à des pertes importantes qui peuvent atteindre l'ensemble du stock.

● **La durée du stockage**

Il apparaît évident que plus la durée du stockage est longue, plus les pertes par respiration sont importantes. Les grains destinés à être conservés sur une longue période, par exemple pour un stockage de sécurité pluri-annuel, doivent donc être dans un état de siccité important et dans un environnement favorable.

● **La microflore des grains**

La surface des grains est toujours imprégnée d'une microflore qui se compose de bactéries, de levures et de moisissures. Dans des conditions normales de stockage, ce sont uniquement les moisissures qui sont à craindre.

Les conditions d'un bon stockage doivent empêcher le développement de ces moisissures qui risquent d'altérer les propriétés organoleptiques des grains et parfois sa qualité alimentaire⁷.

● **Les insectes**

En zone tropicale, de très nombreuses espèces d'insectes, spécifiques des grains stockés ou infestant les produits au champ, sont à l'origine de sérieux dégâts. Leur multiplication est réduite par une faible humidité du grain (11 % pour le maïs par exemple). Ils ne résistent pas à une teneur en oxygène du milieu inférieure à 1 %.

Dans les stocks, les insectes et surtout les larves occasionnent des pertes quantitatives importantes en consommant l'albumen et parfois le germe des grains. Les denrées infestées sont également dépréciées par leurs déjections ou sécrétions et ils créent un milieu propice au développement des micro-organismes.

● **Les rongeurs**

Les rongeurs occasionnent des pertes importantes dans les greniers et les magasins de stockage : pertes quantitatives en consommant les produits et pertes qualitatives en souillant les denrées par leurs déjections. Les rongeurs provoquent également des dégâts aux structures de stockage ou aux emballages (sacs). Le stockage en vrac est plus efficace que le stockage en sacs pour s'en protéger.

⁷ Présence de mycotoxines comme l'aflatoxine produite par *Aspergillus flavus*.

● Les techniques de stabilisation

● *Le séchage*

Il est très généralement nécessaire de sécher les grains pour les amener à une humidité permettant un bon stockage. Le séchage doit être précoce et rapide pour limiter les phénomènes de dégradation des grains par respiration et le développement des moisissures et des insectes.

Traditionnellement, on laisse sécher les céréales sur pied, parfois plusieurs semaines après maturité. Cette méthode présente toutefois de gros risques et des inconvénients sérieux de pertes par égrenage naturel, par attaque de ravageurs ou par infestation : insectes, moisissures, etc.

Après la récolte, on continue le séchage au champ, souvent en meules ou près de l'habitation, en tas sur une surface propre généralement sans protection insecticide.

L'amélioration des méthodes traditionnelles de séchage s'est orientée vers une meilleure utilisation du rayonnement solaire et des vents dominants. On améliore la vitesse et la qualité du séchage tout en réduisant les attaques de déprédateurs. On peut citer :

- > *les claies de séchage* surélevées où les épis sont disposés en bottes croisées pour faciliter la circulation de l'air ;
- > *les cribs-séchoirs* qui servent en même temps de structure de stockage des épis ;
- > *les séchoirs solaires*, réduisant la durée de séchage de moitié⁸.

Cette phase de préséchage est normalement suivie du battage (ou de l'égrenage pour le maïs), et, si nécessaire, d'un séchage plus poussé avant le stockage.

Souvent, le battage n'est fait qu'au fur et à mesure des besoins ménagers. Séchage et stockage sont alors confondus. C'est le cas, en particulier, du maïs, stocké en grappes d'épis non déspathés suspendues sous les arbres en régions sèches ou en greniers aérés en régions plus humides (dans ce cas une protection insecticide est toujours recommandable).

Le séchage des grains proprement dit peut se faire en les exposant à l'air (au soleil ou à l'ombre). On répand les grains en couches minces sur une aire de séchage, en les remuant fréquemment pour obtenir un séchage uniforme, et en les protégeant la nuit pour éviter une réhumidification. Cette technique n'est pas applicable en région humide ou pendant la saison des pluies.

L'introduction des variétés à rendement élevé et la mécanisation progressive de l'agriculture permettent désormais de récolter en peu de temps de grosses quantités de grains à forte teneur en eau. De plus, dans les zones tropicales humides il est souvent difficile de sauvegarder la qualité des produits. Il devient donc nécessaire de faire sécher les produits dans des délais relativement brefs, quelles que soient les conditions ambiantes. On doit alors recourir au séchage artificiel en soumettant les grains à une ventilation forcée d'air plus ou moins chauffé dans des séchoirs.

⁸ Ils se justifient rarement dans le contexte économique actuel.

Les séchoirs

Un séchoir comprend :

- le corps du séchoir, qui contient les grains à sécher ;
- le générateur d'air chaud, qui permet de réchauffer l'air de séchage ;
- le ventilateur, qui permet la circulation de l'air dans la masse de grains.

Il existe deux types de séchoirs :

- les séchoirs statiques ou discontinus qui sont peu coûteux mais ne peuvent traiter que des quantités des grains réduites. Ils sont donc adaptés aux besoins de petits et moyens centres de collecte ;
- les séchoirs continus à grand débit qui nécessitent des infrastructures plus complexes, un équipement complémentaire et surtout une planification et une organisation particulière. Ils sont donc destinés à de gros centres, silos ou magasins, où l'on traite de très grandes quantités de produits.

Ce séchage artificiel est efficace, mais coûteux. On a donc cherché à développer des séchoirs solaires dès les années 70. Mais des coûts de fabrication élevés, une faible durée de vie et une efficacité limitée ne permettent guère de les recommander.

● Le stockage

Le stockage individuel

Les caractéristiques du stockage individuel sont les suivantes :

- > bien que représentant la forme essentielle du stockage dans les pays en développement, il intéresse généralement des quantités unitaires faibles de l'ordre de une à deux tonnes ;
- > les grains sont principalement destinés à l'autoconsommation. Cependant, une part des stocks est réservée à la semence et parfois à la vente ;
- > les stocks, dont une partie est prélevée chaque jour pour la consommation immédiate, sont généralement conservés une année pour couvrir les besoins familiaux jusqu'à la récolte suivante. Le stockage à long terme (pluriannuel) est plus rare ;
- > les récoltes ont généralement subi un séchage sur pied, au champ et ont pu subir des attaques (insectes, rongeurs, oiseaux) ;
- > les produits sont parfois stockés en épis, notamment durant les premiers mois du stockage et sont souvent propres du fait d'un triage manuel effectué par le paysan avant l'emmagasinage.

Les structures traditionnelles de stockage varient selon les pays et selon les zones climatiques. Toutefois, toutes sont construites avec des matériaux disponibles localement qui sont essentiellement la terre, la pierre, les fibres végétales et le bois.

Les greniers fermés

Les greniers en banco des zones sahéliennes de l'Afrique représentent un exemple typique de grenier fermé. De section circulaire ou carrée, ces greniers sont construits en terre plus ou moins armée de fibres végétales. La base de l'édifice, parfois constituée de rondins de bois, repose sur des pierres pour éviter les remontées d'humidité. Le toit de chaume protège l'ouverture de remplissage (et de vidange) située dans sa partie supérieure. Ces structures fermées sont adaptées aux zones sèches où les grains sont, dès la récolte, dans un état de siccité important, donc stables vis-à-vis du développement des micro-organismes.

Les greniers aérés

Ils constituent la structure de stockage typique des zones humides où les produits, malgré un préséchage au champ, n'atteignent pas au moment de la récolte le taux d'humidité de sauvegarde. Ils sont généralement constitués de fibres végétales⁹ tressées et réunies en une sorte de grand panier posé sur une plate-forme en bois soutenue par un ensemble de petits piliers (rondins de bois par exemple). L'ensemble est recouvert d'un toit de chaume. Leur paroi non étanche permet la libre circulation de l'air et donc la finition du séchage au cours des premiers mois de stockage.

Certains greniers n'ont pas de parois. Ils sont simplement constitués d'un empilement d'épis sur une plate-forme surélevée. Le tout est parfois recouvert d'un toit de chaume. C'est le cas par exemple des ébliva togolais pour le stockage du maïs.

Les greniers aérés traditionnels ne présentent pas, en général, de protection contre les rongeurs ni contre les insectes et le risque de développement des moisissures subsiste. Ils doivent être considérés comme des structures de séchage ou de finition de séchage plutôt que comme des structures de stockage proprement dit.

Ces méthodes traditionnelles peuvent être améliorées, mais les améliorations ne sont acceptées par les paysans que si elles donnent des résultats probants à peu de frais.

Concernant les greniers fermés, l'effort doit surtout porter sur leur bon entretien, notamment par un lutage de toutes les fissures de fond et de parois, par des réfections de toiture et par des nettoiyages rigoureux des greniers et de leurs abords.

La lutte contre les insectes

Dans tous les cas, l'amélioration du stockage villageois passe par la lutte contre les insectes, responsables de pertes importantes (cf. le chapitre 436). À côté des nombreuses techniques traditionnelles¹⁰, l'emploi d'insecticides reste, à l'heure actuelle, le moyen le plus efficace.

On distingue deux types de traitements insecticides :

- > le traitement par fumigation, utilisé pour détruire rapidement les insectes déjà dans les grains, quel que soit leur stade de développement, l'insecticide, sous forme de gaz, pénétrant dans le grain. Mais la fumigation nécessite des précautions d'emploi draconiennes (ces gaz sont très toxiques pour l'homme) ; elle ne peut être mise en œuvre que par des équipes spécialisées. Elle est donc rarement employée pour un stockage individuel.
- > le traitement par les insecticides de contact reste donc le seul type de traitement chimique à la portée des producteurs. Les produits organochlorés, très toxiques pour l'homme et pour lesquels les insectes ont développé des résistances, sont proscrits depuis de nombreuses années.

9 Chaume de céréales, feuilles de palmier.

10 Exposition au soleil, fumigation, addition de matières inertes solides, addition d'huile, utilisation de plantes répulsives...

Les insecticides de contact les plus utilisés

À l'heure actuelle ce sont les organophosphorés (malathion, bromophos, dichlorvos). Des cas de résistance au malathion et au bromophos ont déjà été signalés. C'est pourquoi l'utilisation d'insecticides plus récents et plus performants, tels que le pirimiphos-méthyl et le chlorpyrifos-méthyl est de plus en plus fréquente. La persistance d'action du pirimiphos-méthyl (connu dans le commerce sous le nom d'Actellic) est estimée à plus de six mois. La généralisation de son utilisation risque toutefois de faire apparaître des groupes d'insectes résistants. Des mélanges de plusieurs substances (organophosphorés + pyrèthroïdes de synthèse) sont également d'un emploi de plus en plus fréquent. Des travaux sont en cours pour répertorier et évaluer l'efficacité de nombreuses substances végétales. Le pouvoir insecticide du pyrèthre ou du neem sont bien connus, mais de nombreuses autres plantes ou associations de plantes restent à évaluer pour proposer des produits efficaces et moins polluants.

Au niveau villageois, le poudrage reste le type de traitement des stocks le plus répandu. Il est souvent réalisé à la main par saupoudrage du stock en place, par mélange manuel dans de petits récipients, ou par pelletage du tas de grains.

L'utilisation d'un fût métallique monté sur un axe excentré, qui permet de bien mélanger la poudre à une petite quantité de grain peut être efficacement utilisé pour le traitement des semences.

Pour les grains ou les épis conservés dans les silos villageois, la méthode de poudrage utilisée est celle du *traitement en sandwich*.

La lutte contre les rongeurs est importante et doit d'abord être préventive. Il faut placer des *écrans* infranchissables entre les rongeurs et les stocks (par exemple, barrières anti-rats et fermeture hermétique des locaux) et surtout observer une hygiène rigoureuse dans les entrepôts.

Une lutte chimique bien menée donne souvent de bons résultats et permet d'améliorer de manière sensible le stockage des produits au niveau villageois. Cependant, le premier type d'action dans la lutte contre les déprédateurs de stocks (insectes, rongeurs) consiste simplement à observer de bonnes mesures d'hygiène préventive, y compris un nettoyage soigneux des greniers et de leurs abords, l'élimination des déchets, la réfection des constructions défectueuses et le nettoyage des produits à stocker.

De nouvelles structures de stockage ont été proposées :

- > silo cylindrique en béton et parpaings, silo en briques nues qui ont été fort peu adoptés ;
- > l'utilisation de fûts métalliques a connu un certain succès, limité par la difficulté de n'y stocker que des grains très secs et par leur faible capacité¹¹ ;
- > la fabrication locale des petits silos métalliques connaît un franc succès dans certains pays d'Amérique centrale (Nicaragua) et est en cours d'introduction en Afrique de l'Ouest ;

11 Pour plus de détails, on se référera à l'ouvrage *Conservation des grains en régions chaudes*.

- > de nouvelles approches, basées sur une meilleure connaissance des technologies traditionnelles et du contexte socio-économique et sur des échanges locaux d'expériences, ont permis d'introduire avec succès des améliorations aux structures existantes : supports en béton remplaçant les piliers en bois, emploi du bambou dans certaines régions, etc. Cette approche doit être développée pour trouver des solutions au problème croissant de pénurie de matériaux locaux dans de nombreuses régions ;
- > les cribs, qui permettent un séchage lent du produit, sont intéressants dans les zones humides où les produits, qui ont un taux d'humidité élevé à la récolte, ne peuvent être stockés en structures fermées.

Les cribs

L'efficacité du crib comme structure de séchage dépend d'abord de sa largeur : dans les zones très humides où le maïs est récolté à 30-35 % d'humidité, la largeur ne doit pas dépasser 60 cm. Dans un m³ de crib, on peut stocker environ 500 kg d'épis, soit l'équivalent de 300 kg de grains secs.

Pour construire le crib, on utilisera au maximum les matériaux disponibles localement. L'ossature de la structure peut être en bambous ou rondins de bois. Les parois, généralement en grillage dans les cribs modernes, peuvent parfaitement être réalisées en raphia, bambou fendu ou baguettes de bois.

Dans un crib, du maïs (en épis déspathés) récolté en première saison des pluies à 30 ou 35 % d'humidité, peut être séché jusqu'à 15 % en moins de trois mois pendant la seconde saison des pluies. L'humidité du maïs de seconde saison peut aussi être abaissée de 25 à 15 % en 10 jours.

Le stockage communautaire

Lorsque les quantités produites augmentent, essentiellement pour la vente, les techniques traditionnelles ou améliorées de stockage ne suffisent plus, et le coût des installations de stockage dépasse vite les capacités financières de producteurs indépendants. Le stockage communautaire devient nécessaire.

Etant donné l'importance des quantités stockées (plusieurs centaines de tonnes), il est alors possible de justifier des investissements importants dans des structures de stockage permettant un meilleur contrôle des stocks et un traitement des grains beaucoup plus efficace que ceux envisageables dans le cadre d'un stockage individuel¹².

● *La première transformation des céréales*¹³

Les grains, stockés ou non, doivent être transformés pour être consommés. Plusieurs opérations successives sont nécessaires : le nettoyage, le décorticage, le broyage ou la mouture.

Ces opérations sont différentes selon que l'on s'intéresse au riz¹⁴ ou aux mil, maïs et sorgho¹⁵. Le fonio, lui aussi à grain vêtu, s'usine comme le riz¹⁶ et se consomme en grains entiers.

12 Les techniques à mettre en œuvre, que ce soit pour un stockage en sacs ou en vrac, dépassent le cadre de cet ouvrage. On se référera à l'ouvrage *Conservation des grains en régions chaudes*.

13 Ce chapitre doit beaucoup à « *La transformation des produits agricole tropicaux* » de J. F. CRUZ, 1995, CIRAD, 49 p.

14 Grain vêtu, consommé entier après usinage.

15 Grains nus, consommés sous formes diverses à base de farines ou semoules.

16 La mécanisation de ces opérations est en cours de mise au point.

● Le nettoyage

Cette opération a pour but d'éliminer les corps étrangers mélangés aux grains. C'est une opération indispensable pour obtenir un produit fini de qualité, mais trop souvent négligée. Traditionnellement, on utilise le vannage, qui consiste à lancer les grains en l'air. Le vent emporte les impuretés légères, mais pas les impuretés lourdes, ce qui oblige à compléter le vannage par un tri et un lavage.

La mécanisation est possible à différentes échelles :

- > *les tarares* (de débit inférieur ou égal à une tonne/heure), mus à la main ou par un moteur, sont des machines simples : une trémie de réception, un ventilateur et un jeu de tamis de dimensions appropriées au grain à nettoyer ;
- > *les prénettoyeurs et les nettoyeurs séparateurs* : leur coût et leur débit (de cinq à vingt tonnes/heure) les réservent aux centres de stockage.

● Le décortilage

Pour les grains nus (mil, sorgho, maïs), le décortilage consiste à éliminer le péricarpe et la testa (mil et sorgho), couche riche en composés phénoliques antinutritionnels, et le germe (maïs) riche en huile et responsable du rancissement des farines au cours du stockage.

Pour les grains vêtus (riz et fonio), le décortilage comprend le décortilage proprement dit, qui transforme le riz paddy (revêtu de ses glumelles) en riz cargo débarrassé de ces enveloppes, et le blanchiment, qui élimine les téguments et le germe et donne le riz blanchi, prêt à être consommé.

● Le décortilage des mils et sorghos

Les mils et les sorghos sont consommés sous forme de bouillies, pâtes, couscous ou galettes traditionnelles réalisées à base de farines ou semoules plus ou moins grossières, obtenues après décortilage et mouture des grains.

Le décortilage traditionnel consiste à piler le grain préalablement nettoyé et réhumidifié (5 % d'eau) pour rendre plus souples les téguments et faciliter le dépelliculage.

Le décortilage mécanique peut se faire par friction de grains réhumidifiés ou par abrasion des grains contre une surface rugueuse.

● Le décortilage du maïs

Dans le cas du maïs, le décortilage a pour but d'enlever le péricarpe mais surtout d'ôter le germe pour éviter que l'oxydation des lipides qu'il contient n'altère les qualités organoleptiques des produits finaux (farine, bière...). Ce dégermage représente, encore aujourd'hui, un problème dans de nombreux pays africains.

Le travail traditionnel de décortilage du maïs est plus long et souvent plus pénible que celui du mil ou du sorgho. Le dégermage est cependant rarement effectué car la farine produite est souvent consommée immédiatement. Elle a d'ailleurs ainsi une plus grande valeur nutritive.

Le développement actuel de la culture du maïs conduit à prévoir d'autres débouchés que l'autoconsommation. La commercialisation et le stockage des farines pendant plusieurs semaines ou encore la fabrication de grits de brasserie nécessitent alors un dégermage systématique.

Cette opération, bien réalisée et maîtrisée au niveau industriel, reste un problème au niveau artisanal ou semi-industriel. Le décortiqueur Engelberg est parfois utilisé par certains meuniers, mais les pertes au décortilage sont alors relativement élevées (15 % à 20 %) du fait des brisures. Le décortiqueur PRL à disques résinoïdes n'effectue qu'un dégermage partiel du produit. Un dégermeur à maïs brésilien (*Maquina d'Andréa*) est également commercialisé. Le rotor est équipé de couteaux qui assure la décortilage et le dégermage des grains. Le CIRAD a testé un modèle fonctionnant en discontinu qui a donné des résultats satisfaisants tant en terme de débit (supérieur à 100 kg/h) qu'en qualité du dégermage. Cette machine pourrait être adaptée aux besoins des transformateurs africains.

Les décortiqueurs

Plusieurs décortiqueurs peuvent être utilisés parmi lesquels :

- le décortiqueur Engelberg, initialement conçu pour l'usinage du riz, qui est parfois utilisé pour le décortilage des autres céréales mais nécessite habituellement une réhumidification des grains qui conduit à l'obtention d'une farine instable car humide ;
- le décortiqueur COMIA/FAO, qui élimine les téguments par frottement. Son débit est de 200 à 300 kg/h. L'usure prématurée de certaines pièces (battes en caoutchouc) n'a pas permis à cette machine de connaître un réel développement ;
- le décortiqueur PRL (CRDI - Canada). Les premiers matériels de ce type permettaient de transformer plusieurs centaines de kg/heure et étaient surtout destinés aux unités artisanales produisant des farines ou semoules. Pour permettre un travail à façon des unités de transformation, une version réduite appelée mini PRL a été conçue. La machine fonctionne en discontinu à partir de 10 kg de produit. Pour alléger l'appareil, les meules ont été remplacées par des disques en résinoïde. Ce matériel est utilisé pour les mils et sorghos mais également pour le maïs. Il en existe diverses fabrications locales notamment au Sénégal et en Gambie. Son principal défaut reste son fonctionnement en discontinu qui ne permet pas de vérifier la qualité du décortilage en cours de travail ;
- le décortiqueur CIRAD : le décortilage s'effectue par abrasion. Le fonctionnement en continu de l'appareil permet, en intervenant sur la trappe de sortie, de contrôler en permanence le niveau de décortilage des grains. Le débit de la machine peut varier de 50 kg/h à 100 kg/h et est adapté aux besoins des villageois ou des artisans transformateurs urbains. Ce matériel est aujourd'hui commercialisé par la société française Electra.

● L'usinage du riz

L'usinage du riz consiste à transformer le riz paddy en riz blanc : 100 kg de paddy donnent 70 kg de riz blanchi (entier + brisures), 20 kg de balles, 8 kg de sons et farines, 2 kg de germes.

Dans les pays tropicaux, deux techniques extrêmes ont longtemps coexisté : le pilonnage manuel familial et, à l'opposé, l'usinage industriel, souvent monopole d'Etat. Le décortilage artisanal, longtemps marginalisé, tend aujourd'hui à se développer dans de nombreux pays avec les politiques de libéralisation. On assiste aussi à l'émergence de techniques semi-industrielles avec le développement de *minirizeries*.

Le décortilage traditionnel est effectué au pilon et mortier. Il s'agit plus d'un décortilage que d'un usinage car le blanchiment est peu poussé. Cette pratique quotidienne laborieuse est encore très répandue en milieu villageois pour la transformation des grains destinés à l'autoconsommation.

L'usinage artisanal

La *décortiquerie* correspond au premier stade de mécanisation de la transformation. C'est l'unité la plus simple où l'usinage du paddy s'effectue en un passage au travers d'une seule machine : le décortiqueur de type *Engelberg*. Le décortilage-blanchiment du riz est obtenu par friction des grains entre eux et par frottement sur la grille de fond. Les performances techniques de la machine sont généralement médiocres (rendement à l'usinage de 60 % seulement) et les actions de choc (pièces métalliques) exercées sur le riz conduisent à un taux de brisures souvent très élevé (50 %), qui diminue fortement la valeur commerciale du produit. L'étuvage préalable du paddy permet d'améliorer les performances de la machine.

Dans la *décortiquerie* améliorée, les opérations de décortilage et de blanchiment sont séparées et effectuées dans deux machines différentes : un décortiqueur à rouleaux et un décortiqueur *Engelberg* utilisé comme blanchisseur. Cette séparation des opérations permet d'améliorer les performances de l'unité, avec un rendement d'usinage proche de 65 % et un taux de brisures légèrement réduit (40 % environ).

L'usinage semi-industriel (minirizeries)

C'est un niveau de transformation relativement récent qui vise à atteindre des performances équivalentes à celles observées en rizerie industrielle mais avec une complexité nettement moindre. Par rapport à la *décortiquerie*, la minirizerie comporte toujours un matériel de nettoyage du grain avant décortilage. Le débit horaire est de 500 à 800 kg/heure mais l'insertion de nouvelles machines en parallèle permet d'atteindre des débits voisins d'une tonne et demi par heure.

L'unité d'usinage comprend :

- > un décortilage par rouleaux caoutchouc ;
- > une séparation des balles par ventilation (aspiration) ;
- > un blanchiment par friction ou abrasion.

Cette succession d'opérations est réalisée par une seule machine, dans le cas des unités compactes, ou par des modules séparés : décortiqueur d'une part et blanchisseur d'autre part avec, souvent, insertion d'une table densimétrique.

Ces unités permettent un rendement d'usinage proche de 70 %, un taux de brisures réduit et une récupération séparée des sous produits (son pour l'alimentation du bétail). Elles présentent un fort potentiel de développement.

● Le broyage et la mouture

Le broyage, qui donne des semoules, ou la mouture, qui donne des farines, sont traditionnellement réalisés au mortier après décortilage et vannage/lavage des grains. C'est une opération longue et fastidieuse, mais elle peut être mécanisée. De nombreux matériels sont aujourd'hui disponibles.

Les broyeurs à main sont de petits moulins disposant de meules verticales striées en fonte aciérée ou en acier¹⁷. De nombreuses fabrications locales existent en Afrique mais elles ne sont pas toujours de très bonne qualité.

17 Exemple : Champenois.

● Les matériels motorisés

Ils sont de deux types :

- > *les moulins à meules*, déjà anciens, qui ont connu un certain développement en Afrique. Ils sont constitués de deux meules (métalliques ou émeri silex) horizontales ou verticales dont l'écartement réglable permet l'obtention de farines plus ou moins fines. Les moulins à meules peuvent broyer des produits humides pouvant atteindre plus de moitié d'eau¹⁸. Ils sont aujourd'hui très répandus dans certains pays (Bénin, Burkina Faso, Mali...) où ils sont très appréciés pour leur polyvalence. Leur débit est de 100 à 200 kg/h. Ces appareils restent cependant relativement coûteux et les meules en aggloméré ont tendance à se déliter. Les meules en corindon vitrifié résistent mieux aux variations de température et d'humidité. Par ailleurs, le nettoyage soigneux de ces machines nécessite un démontage quasi-complet.
- > *les broyeurs à marteaux*, plus récents que les moulins à meules, nécessitent obligatoirement un entraînement motorisé. Ils sont de conception simple, polyvalents, robustes, et d'un entretien très facile mais ils sont exigeants en énergie. Les grains ne sont pas écrasés mais éclatés par choc avec les marteaux articulés tournant à grande vitesse (3 000 tr/mn) dans une chambre de broyage. Ils ne sont utilisables que sur produits secs et non gras.

La finesse des farines est fonction de la finesse des perforations de la grille entourant la chambre de broyage. Les grilles les plus courantes ont des perforations de 0,7 mm à 1,5 mm (maxi 5 mm). Plus ce diamètre est petit et plus la farine sera fine mais plus le débit du moulin sera faible.

Les broyeurs à marteaux sont très répandus dans certains pays (il y en aurait au Sénégal plus de 6 000). Leur simplicité de conception rend possible la fabrication locale par des petites entreprises ou des artisans.

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES GRAINES LÉGUMINEUSES ET OLÉOPROTÉAGINEUSES

Les principales plantes à graines oléagineuses et protéagineuses traditionnellement cultivées en Afrique sont l'arachide, le sésame, le pois du Cap, le niébé et le voandzou. Le ricin et le soja, d'introduction récente, sont également produits en petites quantités. Ces plantes donnent des graines à forte teneur en huile ou en protéines. Certaines d'entre-elles sont utilisées en complément d'une alimentation en glucides telles que les céréales ou les racines et tubercules.

Tableau 3. Teneur en huile et en protéines des principales plantes oléagineuses

	Teneur en huile en % (1)	Teneur en protéines en % (1)
Arachide	50	25
Ricin	49	-
Soja	21	38
Sésame	49	18
Pois du Cap	2	18
Niébé	2	22
Voandzou	8	25

(1) base graine décortiquée

18 Moulins de Nixtamal au Mexique.

Malgré une bonne aptitude à la conservation, les pertes à la récolte et au stockage peuvent être très importantes. Elles sont dues essentiellement à des facteurs exogènes (insectes, moisissures).

Avec l'application d'un minimum de mesures préventives dès la récolte (séchage rapide et prévention contre les insectes) et lors de la conservation (protection insecticide), leur aptitude au stockage est correcte puisqu'elle permet de garder des graines jusqu'à la récolte de l'année suivante.

L'arachide et le voandzou (pois de terre)

Ils se distinguent des autres légumineuses par leur fructification souterraine. Deux contraintes majeures sont liées à cette spécificité : l'attaque des gousses par les parasites du sol (iules, termites, etc.) et le risque de restes en terre importants en cas sécheresse du sol en fin de cycle. En revanche, les graines d'arachide et de voandzou sont protégées par une coque ligneuse indéhiscente qui permet d'assurer leur bonne conservation pendant une période de plusieurs mois.

● **Les techniques de récolte et la qualité des produits**

Pour ces cultures, la récolte intervient dès que la maturité physiologique est atteinte. Il est vivement conseillé de ne pas dépasser ce stade afin d'éviter une perte importante de récolte¹⁹ et une baisse de la qualité sanitaire, du fait d'un parasitisme précoce. De même, une récolte trop hâtive se traduit par une faible teneur en huile²⁰, une baisse de la teneur en protéines et des qualités organoleptiques. De plus, l'immaturité des récoltes rend les opérations de décorticage/dépelliculage difficiles en raison du taux élevé de graines ridées et fripées.

Il est donc nécessaire de bien connaître les signes de maturité des fructifications et de les contrôler régulièrement avant la fin du cycle théorique de la plante²¹.

Pour l'arachide et le sésame, il ne faut surtout pas attendre que tous les fruits présentent des signes de totale maturité :

- > l'arachide est arrachée dès que 70-80 % des gousses sont mûres de façon à minimiser les restes en terre ou les regerminations ;
- > le sésame est fauché dès que les capsules basales, déhiscentes, commencent à s'ouvrir, de manière à ce que les graines ne se répandent pas sur le sol.

Qu'elle soit manuelle ou mécanique, la récolte doit être réalisée le plus rapidement possible, en prenant soin d'écarter systématiquement les pieds desséchés, défoliés ou parasités. Cette séparation qualitative immédiate conditionne très fortement la qualité physique et sanitaire moyenne de la récolte, ainsi que sa conservation ultérieure. La rapidité avec laquelle sont conduites les actions de séchage, battage/égoussage/décorticage, est un facteur primordial de limitation du parasitisme, auquel les graines légumineuses sont particulièrement sensibles.

19 Restes en terre pour l'arachide, dispersion des graines sur le sol pour le sésame.

20 1 % de gain par jour durant les dix derniers jours du cycle de l'arachide.

21 Coloration marbrée brunâtre du parenchyme intérieur des gousses d'arachide, coloration brun clair des gousses de niébé et de soja, coloration brun clair des capsules inférieures de sésame.

● **La stabilisation et le stockage**

● **Les mécanismes de dégradation**

Les graines protéagineuses sèches ont une activité métabolique réduite et se conservent parfaitement sur une longue durée. En revanche, les graines à teneur en huile élevée ont une assez forte activité métabolique en climat intertropical chaud et humide, et ce d'autant plus qu'elles sont stockées dans un milieu aérobie. Des processus endogènes d'oxydation provoquent une dégradation des acides gras (rancissement) et une augmentation de l'acidité, entraînant simultanément une dégradation des qualités physiologiques (baisse du pouvoir germinatif des graines conservées pour la semence), organoleptiques et culinaires. Seuls des procédés industriels huiliers mettant en œuvre des techniques de neutralisation, désodorisation et décoloration permettent d'utiliser des graines oléagineuses altérées.

● **Les techniques de stabilisation**

● **Le séchage**

Le séchage des graines sera d'autant plus rapide que la récolte interviendra en début de saison sèche. Il sera, en revanche, beaucoup plus lent et difficile au cours de la petite saison sèche en zone intertropicale à deux saisons des pluies ou si la culture a été conduite en irrigation totale. Lorsque la biomasse est importante (cas de l'arachide), il est conseillé de ne pas procéder au regroupement en meules tant que l'humidité des récoltes reste supérieure à 10 %, afin d'éviter le développement de moisissures susceptibles de produire des mycotoxines. La séparation manuelle des gousses dès l'arrachage (égoussage en vert) représente une technique permettant d'accélérer le séchage.

Pour les graines protéagineuses, le séchage naturel s'opère rapidement et les méthodes de séchage en couche mince sous film plastique au soleil, conseillées pour certaines espèces (niébé), ont essentiellement pour but d'assurer une destruction préalable des insectes afin de faciliter la conservation. Il est par ailleurs recommandé de regrouper les récoltes de certaines espèces à fructification fragile (sésame, niébé, soja) sur des aires propres (bâches, claies, etc.) en fin de séchage, de façon à éviter des pertes en graines importantes et leur pollution par du sable ou de la terre.

● **Le stockage**

Pour l'arachide et le voandzou, dont les graines sont protégées par une coque relativement solide, on privilégie le stockage en gousses. Cette dernière constitue la meilleure protection contre les mécanismes endogènes de dégradation métabolique.

En revanche, les modes et conditions essentiels de réussite du stockage des graines décortiquées se résument à :

- > une propreté physique des grains ;
- > une humidité stabilisée ;
- > une désinsectisation préalable ;
- > une rapidité de mise en stock ;
- > une conservation en milieu confiné ou anaérobie (silos étanches, fûts, etc.).

Pour les stocks importants destinés à la transformation industrielle, la qualité des graines dépend pour l'essentiel de la précocité de la collecte et de l'efficacité des fumigations insecticides préventives réalisées. La Phosphine, qui reste maintenant le seul fumigant autorisé, présente l'inconvénient majeur de produire un dégagement gazeux (PH_3) très lent lorsque l'air ambiant est trop sec. Il est donc vivement recommandé de procéder à une humidification (coupelles d'eau, chiffons mouillés) sous la bâche de traitement, particulièrement en zone soudano-sahélienne où l'air est très sec et d'augmenter la durée du traitement. La fumigation n'ayant aucune rémanence, il est conseillé d'en opérer une après chaque rupture de charge des stocks.

● La première transformation

Le producteur vend l'essentiel de sa récolte sous forme de graines sèches (décortiquées ou non). La vente en frais se limite à de faibles quantités d'arachide et de niébé en gousses primeurs. De ce fait la première transformation se limite au battage et au nettoyage des grains. Accessoirement, et selon le marché visé, l'agriculteur décortique l'arachide à la main ou à l'aide d'une machine manuelle. S'il produit artisanalement de l'huile, c'est essentiellement pour l'autoconsommation. La vente des surplus ne dépasse pas le cadre du village.

Ces graines (à l'exclusion du ricin), qui sont utilisées sous différentes formes (graines, farine, pâte) dans l'alimentation des populations, sont en majorité transformées par la ménagère.

L'approvisionnement des marchés importants (locaux ou d'exportation) est, en général, assuré par des transformateurs spécialisés (groupements de femmes, artisans, industriels) disposant d'équipements dont la nature et la taille sont fonction du volume traité et des exigences de qualité imposées par les acheteurs.

Il existe une très large gamme de matériels de récolte et de battage (de l'égousseuse manuelle à la batteuse autotractée) et de transformation (du décortiqueur manuel aux décortiqueurs industriels ou de la presse manuelle à l'huilerie industrielle). Signalons également que les matériels de capacité intermédiaire, adaptés aux petites entreprises, existent très souvent à la fois en version technologique simple (huileries indiennes) et sophistiquée (mini-huileries européennes).

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES RACINES ET TUBERCULES

Les principales plantes à racines et tubercules cultivées en Afrique sont le manioc, la pomme de terre, la patate douce, l'igname, le taro et le macabo. Elles ont en commun de produire des racines, des cornes ou des tubercules qui stockent de l'amidon.

Au contraire des céréales, les plantes à racines et tubercules donnent des produits facilement périssables, essentiellement à cause de leur forte teneur en eau (50 à 80 %). Ce sont des produits volumineux, pesant souvent plusieurs kilos, composés de tissus tendres et vulnérables. Les pertes au stockage peuvent être très importantes. Elles sont dues à des facteurs endogènes (respiration, transpiration, germination) et à des facteurs exogènes (moisissures, bactéries, insectes, nématodes).

En conséquence, leur aptitude naturelle au stockage est relativement limitée (de quelques jours à quelques mois, avec des variations importantes entre espèces et

variétés). Ceci conduit pour les conserver à les transformer en produits secs plutôt qu'à les stocker sous forme de produits frais.

Au-delà de ces similitudes, les plantes à racines et tubercules présentent des différences marquées. Qu'y a-t-il de commun entre l'igname ou la pomme de terre qui peuvent, grâce au phénomène de dormance, se conserver plusieurs mois, et le manioc, dont les racines doivent être transformées dans les deux jours qui suivent la récolte ? Ou entre le taro et la patate douce, qui peuvent être cultivés, donc récoltés, tout au long de l'année si les conditions climatiques sont favorables, ce qui limite les besoins de stockage, et l'igname, dont la photosensibilité ne le permet pas, et qui doit donc être stockée ?

On distinguera donc, en fonction de l'aptitude au stockage :

- > les plantes qui ne supportent pas ou très peu le stockage en frais, comme le manioc ;
- > les plantes qui supportent un stockage en frais de faible durée (quelques semaines) comme le taro et la patate douce ;
- > les plantes qui supportent un stockage en frais de plus longue durée (quelques mois). C'est le cas de l'igname et de la pomme de terre, tant que dure la dormance.

On distinguera aussi les plantes généralement consommées en frais (taro, patate douce, pomme de terre, igname), même si elles sont parfois transformées, des plantes essentiellement transformées car elles ne se stockent pas en frais. C'est le cas du manioc.

● **Les techniques de récolte et la qualité des produits**

Chez de nombreuses plantes cultivées, la récolte a lieu au moment de (ou peu après) la maturité physiologique, c'est-à-dire lorsque le déplacement des produits de la photosynthèse vers les organes de réserve est achevé.

Pour les plantes à racines et tubercules, la récolte peut intervenir largement avant la maturité physiologique (cas des ignames à deux récoltes par exemple) ou bien après qu'elle ait été atteinte (variétés de manioc amer, qui peuvent rester plusieurs mois dans le sol). C'est d'ailleurs la seule façon de conserver ces variétés avant transformation, même si le poids de racines et la teneur en amidon diminuent peu à peu et si les racines finissent par se lignifier, rendant leur utilisation plus difficile.

Quel que soit le stade de récolte envisagé, le soin mis à la récolte comme aux manipulations après récolte est primordial. En effet, toute blessure est une porte d'entrée pour les champignons et les bactéries, qui engendrent des pertes importantes au stockage. Ce risque d'endommager les tubercules est un frein sérieux à la mécanisation de la récolte qui reste, dans la plupart des cas, manuelle. Il est cependant très difficile de ne pas blesser les tubercules au cours de la récolte ou du transport.

Le curing

Le *curing* est recommandé pour cicatiser les blessures. Cette opération consiste à soumettre les tubercules à des températures élevées (30 à 40°C) en atmosphère humide (85 à 90 % d'humidité relative) pendant trois à sept jours. Elle peut être pratiquée sur plusieurs espèces d'igname, la pomme de terre, le taro, le macabo et la patate douce.

Enfin, pour limiter les pertes en cours de stockage, il est nécessaire de trier les tubercules sains ou parfaitement cicatrisés. Les autres seront transformés rapidement.

● **La stabilisation et le stockage**

Ce paragraphe ne concerne guère le manioc, qui ne peut pas être stocké au-delà de quelques jours à l'état frais (cf. la fiche manioc dans le chapitre 51).

● **Les mécanismes de dégradation**

Les racines et tubercules sont des produits vivants et humides, en général conservés sans séchage. Ils sont donc le siège d'une activité métabolique non négligeable qui provoque une perte de poids progressive avec, parallèlement, une dégradation de la qualité culinaire et nutritionnelle. Cette activité métabolique augmente fortement, pour l'igname et la pomme de terre, dès la fin de la dormance. Le cas du manioc est différent : une putréfaction primaire, due à des processus endogènes d'oxydation, se développe très vite, empêchant tout stockage.

Ces différents phénomènes font que, en l'absence de pratiques particulières, le manioc ne se conserve que deux ou trois jours après la récolte, la patate douce une à trois ou quatre semaines, le taro trois semaines, la pomme de terre et l'igname plusieurs mois. À ces facteurs endogènes s'ajoutent des facteurs exogènes : ces tubercules peuvent être attaqués par divers champignons, des bactéries, des insectes et des nématodes, mais aussi par des rongeurs et des oiseaux. Différentes techniques sont utilisées pour limiter ces dégradations, qui sont favorisées par les blessures infligées aux tubercules lors de la récolte, du transport ou de la mise en stock.

● **Les techniques de stockage en frais**

Ces techniques concernent essentiellement la pomme de terre et l'igname. Le stockage se fait traditionnellement soit en fosse soit à l'air libre.

Le stockage en fosse est une méthode peu coûteuse qui permet d'étaler le transport du champ au village. Mais, il comporte de nombreux risques : attaques d'insectes et de rongeurs, pourriture des tubercules. Il ne peut donc être recommandé que pendant un laps de temps limité à quelques semaines.

La conservation à l'air libre peut se faire en petits tas bien aérés et recouverts de paille pour les protéger du soleil, ou dans un hangar surélevé, ventilé, à l'ombre pour éviter la lumière directe et l'échauffement, et en protégeant les tubercules de la pluie. Pour l'igname, une des techniques utilisées couramment en Afrique est le stockage en palissades, sorte de claires verticales sur lesquelles les ignames sont attachées individuellement. Cette technique, assez exigeante en main-d'œuvre, est celle qui semble donner les meilleurs résultats, pourvu que ces palissades soient établies à l'ombre.

Dans tous les cas, une protection chimique par trempage avant stockage est utile. Les pyréthrinoïdes peuvent être utilisés contre les insectes, et les fongicides²² contre les moisissures. Afin de limiter les contaminations entre tubercules, une inspection fréquente des stocks, qui permet d'éliminer les tubercules malades, est toujours recommandée.

²² Par exemple, trempage dans le thiabendazole à 300 ppm pendant dix minutes.

Prolonger la dormance permet d'augmenter la durée de stockage. Divers produits comme l'acide gibbéréllique peuvent être utilisés, mais leur emploi est délicat et leur coût ne permet pas de les recommander. L'égermage manuel reste la méthode la plus pratique. Il est facilité par le stockage sur palissades.

Le stockage au froid améliore largement la durée du stockage en retardant la germination, en réduisant la respiration du tubercule et en limitant le développement des moisissures et des insectes. Une température de 15 °C (pas moins, sous peine de dégradation), associée à une humidité de 85 à 90 %, convient le plus souvent, mais exige des installations coûteuses, rarement à la portée des cultivateurs ou même des groupements paysans.

● Le séchage

Le séchage des tubercules, généralement coupés en tranches, peut être pratiqué sur manioc, patate douce, igname, macabo et taro. Ce séchage est le plus souvent réalisé au soleil, mais on peut également utiliser des séchoirs à air chaud dont existent de nombreux modèles. La durée de conservation est alors portée à plusieurs mois. Cette technique est couramment appliquée au manioc, pour produire des cossettes séchées pour l'exportation. Une protection insecticide avec des produits autorisés (par exemple divers pyréthri-noïdes, le chlorpyrifos-méthyl, le pyrimiphos-méthyl) est en général nécessaire.

● La première transformation

Les racines et tubercules (à l'exception du manioc) sont le plus souvent vendues en frais ou sous forme séchée, sans transformation particulière par le producteur. De nombreuses recettes permettent de les consommer. Elles sont le fait de la ménagère ou de la restauration.

Cependant il existe une technique de transformation, applicable à la patate douce, la pomme de terre et l'igname. Il s'agit d'une précuisson des tubercules frais, épluchés, entiers ou découpés en tranches, suivi d'un séchage, qui donne ce que l'on appelle, en Afrique de l'Ouest, les cossettes d'igname.

Le cas du manioc est différent

Si les variétés douces peuvent être consommées sans préparation particulière, les variétés amères, qui contiennent de l'acide cyanhydrique très toxique, exigent un traitement par rouissage pour les détoxifier (cf. la fiche sur le manioc dans le chapitre 51).

La mécanisation des opérations nécessaires au séchage ou à la précuisson n'est pas vraiment au point. Si la découpe de tubercules en rondelles peut être mécanisée à l'échelle du producteur avec, notamment, la trancheuse IITA, il n'en est pas de même de l'épluchage qui reste un travail long et pénible. Divers éplucheurs ont été développés, mais leur coût est trop élevé, et les pertes au pelage trop importantes.

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES FRUITS ET LÉGUMES

La qualité des produits dépend des précautions qui seront prises à la récolte et lors de leur manutention. Les objectifs à poursuivre sont :

- > récolter des produits de bonne qualité et en bon état ;
- > conserver les produits récoltés dans les meilleures conditions jusqu'à ce qu'ils soient consommés ou vendus ;
- > mettre la récolte en vente le plus tôt possible après la cueillette.

● **La récolte**

Le moment de récolte est, en partie, déterminé par les conditions météorologiques et l'état du marché. Le produit doit alors être prêt à être récolté, et tous les moyens nécessaires réunis, que ce soit au niveau de la main d'œuvre destinée à réaliser la récolte ou pour le transport après récolte.

En effet, certaines récoltes fragiles doivent être vendues immédiatement alors que pour d'autres, le temps entre la récolte et la vente peut être plus long.

● **Les règles à respecter**

Il vaut mieux récolter aux moments les plus frais de la journée, tôt le matin (pour les marchés locaux) ou en fin d'après midi (pour les marchés éloignés). Si un transport est nécessaire, il pourra être entrepris de nuit.

Il faut éviter de travailler des produits humides (rosée ou pluie). Différentes altérations peuvent apparaître (fongiques ou autres). Il est conseillé de laisser les fruits sécher trois heures sous le soleil après une pluie avant de les récolter.

Une fois récoltés, les produits doivent être protégés à l'ombre si leur transport n'est pas immédiat pour éviter leur échauffement et leur dessèchement.

● **Comment récolter ?**

Les fruits mûrs, dont le pédoncule reste attaché au fruit, ont un point de rupture naturel qui permet de les détacher facilement lors de la cueillette. Il suffit de tirer et tordre le pédoncule en soutenant le fruit (fruit de la passion, tomate).

En général, pour les fruits dont le pédoncule est ligneux, on utilise des ustensiles simples pour permettre une coupe franche des pédoncules (mangues, agrumes, avocat etc.). La section s'effectue à environ un centimètre du fruit pour éviter un arrachement qui provoquerait une blessure et une possibilité d'infestation du fruit.

Pour les mangues, on utilise des cueille-fruit (manche en bambou, sac et lame orientée vers l'extérieur pour sectionner le pédoncule) ou des sécateurs à bouts ronds de préférence pour ne pas blesser les fruits. Dans le cas où des pinces de récolte sont utilisées (cas des agrumes par exemple), il faut ensuite recouper le pédoncule de façon plus propre.

Les thèmes de formation à la récolte

Il est important de former les personnes qui récoltent sur les sujets suivants :

- le choix du moment de la récolte, en fonction du fruit produit (début de changement de couleur pour la papaye et la mangue, remplissage pour la banane etc.) ;
- les critères de choix pour rejeter un produit non conforme ;
- le tri et le calibrage éventuel des produits ;
- les techniques précises à employer pour la récolte ;
- le conditionnement à la récolte et à la commercialisation ;
- les traitements éventuels après récolte.

Un certain nombre de consignes doivent également être respectées :

- > manipuler très soigneusement les produits en évitant toute meurtrissure par les objets utilisés au moment de la cueillette, par des coups d'ongle à la récolte ou lors de la mise en caisse de récolte (arêtes vives des caisses en bois, échardes, clous, agrafes etc.) ;
- > ne pas lancer ou jeter violemment les fruits dans les caisses ;
- > éviter les contaminations des produits récoltés en évitant de les poser à même le sol ;
- > ne pas utiliser de caisses de récolte sales non brossées ni désinfectées ;
- > éviter le contact avec différents produits tels que l'essence ou l'huile de moteur qui peuvent être présents sur les lieux de récolte ;
- > ne pas remplir excessivement les caisses destinées le plus souvent à être empilées car cela entraîne un écrasement des fruits à l'intérieur ;
- > ne pas mélanger les fruits contaminés par des champignons ou des insectes à des fruits sains.

● **La conservation des produits récoltés**

● **Le conditionnement**

- > le sac permet de récolter les fruits à épiderme résistant (agrumes) et peut se porter en bandoulière. Il doit pouvoir s'ouvrir par le bas pour transvaser les fruits dans un autre conteneur ;
- > les seaux et autres récipients en plastique conviennent aux fruits plus fragiles ;
- > les paniers profonds risquent d'écraser les produits et les bacs de grande contenance présentent un danger d'échauffement car il ne sont pas ventilés.

Il est nécessaire de ne pas laisser trop longtemps les produits en bord de champs ou sous une chaleur importante, car cela entraîne un début de perte de poids, un dessèchement et un flétrissement qui altèrent la qualité du produit, ainsi que l'échauffement important de la pulpe qui entraîne une dégradation irrémédiable des qualités gustatives.

● Les principales causes des pertes après récolte

● *Les altérations liées aux conditions de récolte*

Elles sont provoquées par les pratiques suivantes :

- > récolte peu soignée, effectuée sans souci d'éviter les chocs et grattages divers des fruits ;
- > création de plaies de coupe et de découpe ;
- > entassement des produits après la récolte ;
- > transport en vrac avec une mauvaise aération et sous des températures élevées ;
- > mauvaise articulation entre production et commercialisation.

● *Les altérations parasitaires*

Elles sont nombreuses, entraînent de gros dégâts et sont difficiles à réduire, car les organismes pathogènes sont de nature variée et chacun nécessite une action particulière. La contamination peut survenir au verger et se révéler en entrepôt. En effet, certaines espèces fongiques peuvent pénétrer dans les premières couches de l'épiderme du fruit, par les stomates ou les lenticelles, soit plus profondément par la base du pédoncule ou les cicatrices styloïdes apicales. En général, elles restent inactives tant que le fruit est vert mais la latence est levée lorsque le fruit mûrit.

Les infections des fruits après la cueillette sont très nombreuses en raison de la présence de tous les agents pathogènes sur les lieux de récolte et de conditionnement, et sur les matériels (caisses de récolte, outils, emballages). Les micro-organismes colonisent le fruit par les lésions superficielles provoquées par les manutentions.

Les organismes responsables de ces altérations peuvent être :

- > des champignons, qui se développent dès qu'il y a une voie d'entrée dans le fruit (blessure de la peau) et provoquent de très graves dégâts (anthracnose de la mangue ou de l'avocat, moisissure des agrumes) ;
- > des bactéries, dont les espèces sont moins nombreuses que celles des champignons. On distingue les pourritures sèches et les pourritures molles ;
- > des levures, dont quelques unes sont parfois présentes et dégradent les composés sucrés des fruits ;
- > des insectes, dont les dégâts sont en général liés à l'éclosion d'oeufs pondus dans la chair des fruits (mouche des fruits). Il n'y a pas d'espèces d'insecte spécifiques des entrepôts fruitiers à l'image des charançons des silos à grains ;
- > des oiseaux, qui provoquent des dégâts surtout avant la récolte sur les fruits presque mûrs.

● *L'activité métabolique*

Le fruit vit et continue à respirer après la récolte. Tous les processus métaboliques se poursuivent : transformation de l'amidon en sucres, disparition de la chlorophylle de la peau, laissant apparaître les caroténoïdes (dans le cas de fruits qui jaunissent en mûrissant), activités enzymatiques qui provoquent le ramollissement du fruit.

● Les techniques de protection après récolte

● La stabilisation physique

Elle peut être obtenue par :

- > *l'obscurité* : il est important de protéger les fruits de la lumière, car celle-ci altère la qualité des produits ;
- > *de basses températures* : dans la mesure du possible, il faut stocker les fruits à des températures qui permettent de ralentir les processus métaboliques du mûrissement et la respiration des produits et peuvent aussi limiter le développement des micro-organismes. Cette technique nécessite des installations particulières, basées sur le refroidissement de l'air²³ ou de l'eau²⁴. Ces systèmes doivent s'intégrer dans une chaîne d'emballage et de conditionnement. Si on a la possibilité d'utiliser du froid pour stabiliser les produits, celui-ci doit être adapté aux espèces : il existe une température critique pour chaque espèce. Le stockage à une température inférieure entraîne une dégradation des produits stockés²⁵, qui se traduit par l'apparition d'une coloration brune en surface et à l'intérieur des fruits ;
- > *la ventilation* : elle doit permettre une bonne homogénéisation de la température et de l'humidité dans les entrepôts de stockage, être adaptée à l'emballage utilisé et ne doit pas créer de dessèchement des fruits. Le renouvellement de l'air dans l'entrepôt permet par ailleurs d'éviter l'accumulation de gaz carbonique²⁶ et d'éthylène. L'éthylène est un composé volatil, produit par les fruits, qui provoque le déclenchement de la maturation et accélère le mûrissement ;
- > *l'hygrométrie* : de façon générale elle doit être élevée (> 90 %) afin d'éviter les pertes de poids et les flétrissements. Mais, si elle est trop élevée, elle provoque des développements fongiques. L'hygrométrie optimale dépend de l'espèce, de la durée et de la température de stockage ;
- > *la modification de l'atmosphère* : on peut limiter les échanges gazeux des fruits en augmentant le taux de gaz carbonique et en diminuant le taux d'oxygène de l'atmosphère qui les entoure. Ceci peut être obtenu par injection gazeuse dans les enceintes de stockage ou par utilisation de films plastiques synthétiques ;
- > *le trempage dans l'eau chaude* : il sert à limiter le développement fongique, car la majeure partie des pathogènes présents sur l'épiderme est détruite à des températures de 45 à 55°C. Chaque espèce, là aussi, a des caractéristiques particulières.

²³ Air cooling.

²⁴ Hydro cooling.

²⁵ Maladies du froid.

²⁶ Respiration des produits.

● La stabilisation chimique

Les produits disponibles sont nombreux et variés, ils peuvent agir soit sur la physiologie du fruit soit sur les micro-organismes de dégradation. Leur emploi est généralement plus simple et moins coûteux que les techniques de protection physiques :

- > *les fongicides* sont employés pour la désinfection des fruits tropicaux après récolte. Ils sont proposés sous forme miscible à l'eau, en solution ou en suspension stable. Ils peuvent être utilisés en trempage (fruits irréguliers et de faible densité) ou en pulvérisation (fruits réguliers sphériques) ;
- > *les bactéricides* ne sont pas autorisés par la législation. Le seul utilisé l'est au verger pour lutter contre les bactérioses des arbres fruitiers ;
- > *les insecticides* sont peu utilisés sur les fruits tropicaux ;
- > *les cires* permettent une protection de l'épiderme du fruit et ralentissent les pertes de poids par transpiration et le dessèchement.

● La transformation des fruits et légumes

● Les opérations préliminaires

Le triage par grosseur est indispensable pour réaliser des traitements mécaniques comme le dénoyautage, l'équeutage, le pelage ou le pressage. Le triage par couleur est très important pour les fruits car c'est souvent un indice de maturité du produit ; cela peut aussi permettre de repérer des signes d'altération.

Le lavage des fruits et légumes est très important surtout pour les végétaux pouvant apporter du sable ou de la terre qui ont une forte charge microbienne.

Le pelage et l'épluchage consistent à enlever la peau superficielle : les ananas sont éboutés, pelés, débarrassés du trognon et ensuite coupés en tranches ; les agrumes sont pelés pour la préparation des marmelades ou de sirop. L'opération peut être effectuée en utilisant des solutions alcalines chaudes.

Le blanchiment est une cuisson brève de deux à cinq minutes à l'eau bouillante ou à la vapeur, pour les aliments que l'on veut en général consommer cuit ou que l'on veut conserver par appertisation, déshydratation ou congélation.

Le rôle du blanchiment

Il sert à :

- attendre le tissu végétal pour pouvoir supporter les manipulations ultérieures ;
- éliminer l'air et les autres gaz pour diminuer les réactions d'oxydation ;
- augmenter la perméabilité des parois cellulaires pour augmenter la vitesse de déshydratation et faciliter la réhydratation ultérieure ;
- compléter le lavage du produit en réduisant la contamination chimique et la charge bactérienne ;
- détruire les enzymes pouvant provoquer des dégradations.

● La transformation des fruits et légumes

● La fabrication de confitures et marmelades

Elle consiste à cuire rapidement les fruits dans un minimum d'eau pour les ramollir et libérer la pectine. Cette opération est omise si on utilise des jus ou des fruits ayant déjà subi une cuisson. On ajoute après du sucre, on mélange et on porte à ébullition de manière à obtenir rapidement une concentration égale à 65-70 % de matière sèche. L'ébullition sert à évaporer l'eau, parfaire la cuisson des fruits, pasteuriser le mélange et faciliter la dissolution du sucre. Parallèlement, une partie du saccharose est transformée en glucose et levulose. Le mélange est ensuite coulé à chaud dans les récipients ce qui permet leur stérilisation.

● La fabrication de jus de fruits

L'extraction du jus

Diverses méthodes peuvent être employées selon la structure et la composition du fruit et selon que l'on souhaite obtenir une boisson de limpidité et de viscosité plus ou moins importante.

On peut utiliser une presse hydraulique ou une presse continue à vis. On peut également faire macérer les fruits dans l'eau ou utiliser (pour les purées destinées à la concentration) une passoire avec raffineuse.

Décantation, tamisage, centrifugation et filtration des jus

Ces opérations visent à apporter au produit ses caractéristiques définitives, en enlevant aux jus bruts les éléments indésirables²⁷, et pour assurer la stabilité des jus *troublés* :

- > la décantation consiste à laisser reposer le jus pour séparer les particules grossières ;
- > le tamisage intervient en général en même temps que l'extraction. Il est effectué lorsque le jus renferme trop de pulpe ;
- > la centrifugation sert à éliminer la plus grande partie des matières en suspension ;
- > la filtration est employée pour la finition de certains jus (tamarin, bissap, goyave).

La désaération

Elle sert à éliminer les gaz présents et introduits au cours des opérations précédentes. On fait pour cela écouler le jus en couche fine dans une enceinte sous vide.

²⁷ Pépins, particules insolubles, fragments de membranes cellulaires.

● **La fabrication de pâtes de fruits**

Elle comporte les étapes suivantes :

- > préparation de purée en réduisant par cuisson la pulpe en pâte, ensuite égouttage, écrasement de la pâte à la main ou avec un moulin ;
- > cuisson à feu doux avec le sucre en quantité égale, et ajout de pectines pour les fruits qui en sont peu pourvus. Le produit doit contenir 75 % de matière sèche en fin de cuisson, et le pH doit être corrigé avec du jus de citron pour atteindre une valeur comprise entre 2,8 et 3,4 ;
- > séchage de la pâte dans un séchoir solaire ou dans un endroit sec et aéré, la pâte étant étalée sur des claies ou des assiettes, en prenant soin de saupoudrer de sucre quand on tourne les morceaux. Après séchage, on découpe en carrés et on conditionne.

● **Les autres transformations**

On se contentera ici de citer la fabrication de conserves (surtout pour les légumes), le séchage des fruits en tranches ou morceaux²⁸, la friture des fruits, la production de chips et la valorisation des écarts de triage de fruits d'une filière par la production de vinaigre (cas des dattes, voire de mangue ou de papaye).

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES BANANES ET PLANTAINS²⁹

Les impératifs de récolte, stockage et maturation respectent les mêmes principes quelle que soit la variété concernée. Bien que leur surnom traduise leur utilisation principale, les bananes dites *légumes* (plantains) et les bananes dites *dessert* peuvent être indifféremment consommées immatures ou mûres. Les bananes vertes font toujours l'objet d'une cuisson préalable pour rendre l'amidon digestible. Les bananes mûres peuvent être consommées cuites ou crues. Les plantains étant plus riches en amidon, leur potentiel de conservation au stade mûr est plus élevé que celui des bananes dessert.

²⁸ Avec possibilité de les imprégner de sucre au préalable.

²⁹ Cf. chapitre 515 (les bananiers).

Bibliographie

Céréales

Conservation des graines en régions chaudes, 1988. CEEMAT, Ministère de la Coopération et du Développement, 546 p.

Grain storage techniques, 1994. FAO, Bulletin des Services Agricoles n° 109, 277 p.

Cruz, J.F. 1994. Transformation des produits agricoles tropicaux. CIRAD Grains et graines, 49 p.

Légumineuses et oléoprotéagineux

Collection « *Le technicien d'agriculture tropicale* », Maisonneuve et Larose

- n° 9 *Les légumineuses vivrières tropicales*, par M. BORGET

- n° 37 *L'arachide en Afrique tropicale*, par R. SCHILLING

- n° 4 *Le stockage des produits vivriers* (2 volumes), par J. APPERT.

Bulletins techniques de l'Institut de recherche agronomique du Cameroun (IRA) et CRSP

- n° 2 *Le séchoir solaire pour améliorer le stockage du niébé*.

GILLIER, P. ET SILVESTRE, P. *L'arachide*, Collection «Techniques agricoles et productions tropicales», Maisonneuve et Larose.

Tubercules

BELL, MICK O., SCHULER B., 2000. *Les richesses du sol*, A, DES-ZEL et GTZ, 237 p + annexes.

KNOTH J.K., 1993. *Le stockage traditionnel de l'igname et du manioc et son amélioration*, GTZ, 95 p.

ONWUEME I.C. et HARLES W.B., 1994. *Tropical root and tuber crops*, FAO, 228 p.

Fruits et légumes

AMORRIGGI G, 1988. *Techniques de transformation et conservation artisanale des fruits et légumes*. Rome FAO, 62 p.

Conservation des fruits à petite échelle. Série technologique, dossier n° 13 et n° 14. Genève, BIT, 1990, 226p.

Comment conserver et transformer les fruits et légumes au Sahel. Mali, CILSS, Institut du Sahel, Guide technique, 1991. Diffusion : RESADOC, Institut du Sahel BP 1530 Bamako, Mali.

FRANÇOIS M. *Transformer les fruits tropicaux. Guide technique*, Collection le point sur les technologies. GRET, ministère de la Coopération et du Développement, CTA. ACCT, 1997, 221 p.

La traction animale et la motorisation

À partir d'une contribution de J.C. Lassaux (CIRAD)

L'ÉNERGIE ET SA MESURE

L'énergie peut se définir comme le moyen de faire un travail. Lorsqu'une force est appliquée à un objet et qu'il y a déplacement, un travail est effectué et il y a dépense d'énergie. Le travail, c'est l'outil en mouvement. En agriculture, comme pour toute autre activité, sans énergie il n'y a pas de récolte !

Selon sa nature, l'énergie peut être mesurée selon différentes unités : la calorie pour l'alimentation, la frigorie pour le froid, la thermie pour le chauffage, le kilowattheure pour l'électricité, la tec (tonne équivalent charbon) et la tep (tonne équivalent pétrole) pour l'industrie. L'unité légale est le joule (J) : travail produit par une force d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force.

L'énergie qui est fournie à un système durant une unité de temps pour effectuer un travail est la puissance. La puissance est exprimée en watt (W) : puissance d'un système énergétique dans lequel est transférée une énergie de 1 joule pendant une seconde. On trouve fréquemment des données d'énergie exprimées en watt heure (Wh) ou même en kilowattheure (kWh) soit 1000 Wh. Le watt heure correspond à l'énergie produite pendant une heure par un système d'une puissance de 1 watt, soit 3600 joules.

La tep correspond à une tonne de pétrole, soit 7,3 barils, équivalente approximativement à 1,5 t de charbon et 4500 kWh.

Le cheval (ch) est l'unité utilisée pour désigner la puissance des moteurs thermiques diesel ou essence : $1 \text{ ch} = 75 \text{ kg m/s} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}$ ($1 \text{ kW} = 1,36 \text{ ch}$).

● Les grands types d'énergie

En milieu rural africain, la consommation d'énergie est dédiée à 80 % aux usages domestiques et 20 % environ aux usages agricoles : labour, irrigation, engrais, transformation.

Au début des années 80, la part des énergies traditionnelles¹ s'établissait à :

- > près de 60 % en Afrique et au sud du Sahara, et jusqu'à 80 % dans les pays les moins avancés ;
- > environ 50 % en Asie (Chine exclue) ;
- > environ 35 % en Chine ;
- > moins de 20 % en Amérique latine ;
- > de l'ordre de 13 % en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

Ces énergies traditionnelles servent d'abord à la cuisson des aliments mais aussi au chauffage des habitations et à de nombreuses activités artisanales ou semi-industrielles: forges, fonderie, transformation de produits agricoles, etc.

L'énergie musculaire, humaine ou animale est très largement sollicitée. En 1996, plus de 70 % des agriculteurs du tiers-monde n'employaient que des outils manuels. La traction animale permet d'améliorer la productivité du travail. Elle met en jeu des puissances plus grandes que les outils manuels : travail plus important à plus grande vitesse. Elle ne peut plus être considérée aujourd'hui seulement comme une étape intermédiaire avant la motorisation. Elle est une alternative de progrès, en relais et en complément à la culture manuelle.

L'agriculture des pays en développement pèse encore relativement peu dans la consommation des énergies modernes. Celles qui sont consommées directement ou indirectement concernent essentiellement le matériel agricole, les engrais, les pesticides, l'irrigation et la transformation. Elles représentent moins de 4,5 % de la consommation d'énergie dans de nombreux pays ACP. Mais les besoins pourraient tripler d'ici 2020.

● **La productivité comparée**

Les tableaux suivants fournissent différents temps de travaux en fonction des sources d'énergie utilisées et de la puissance mise en œuvre en fonction des travaux effectués.

¹ Bois et formes dérivées de la biomasse, déchets agricoles, charbon de bois.

Tableau 1. Temps de travaux comparés en heures/ha

Opérations culturales	Culture manuelle	Culture attelée	Culture motorisée
	1 personne	Paire de bœufs 0,5 kW 2 ou 3 personnes	Ane (lourd) 0,12 kW 11 à 13 kW 1 personne
Terres légères			
Grattage en sec (simple)	30 à 35	12	25
Billonnage (houe manuelle ou charrue attelée)	120	12	
Billonnage (billonneur)		9	
Billonnage sur terre labourée (billonneur)		7	
Labour à plat (houe manuelle ou charrue asine 6 pouces)	200		60
Labour à plat (charrue 10 pouces)		25-30	8,5 (1 soc)
Hersage ou passage de canadien		5	3 (1 m)
Semis en ligne	64	12 (1 rang)	7-10 (1 rang) 2,5 (2 rangs)
Binage	160	15	12 3 (1 m)
Soulevage de l'arachide	96	20	
Terres lourdes			
Billonnage (houe manuelle, charrue attelée, billonneur tracté en culture motorisée)	140	30	4 (2 rangs)
Labour à plat	320	40	10 (1 soc)
Hersage		15	3 (1 m)

Tableau 2. Puissances nécessaires comparées

Travail	Matériel Utilisé	Traction généralement nécessaire en condition moyenne sur terre franche	
		Traction chevaline : nombre de chevaux (1 cheval = 0,30 kW)	Traction mécanique (puissance nominale en kW)
Labour 8 à 10 cm	2 socs	2	11 à 13
	3 socs	2	
	4 socs	3	18 à 22
Labour 12 à 15 cm	1 soc	2	11 à 13
	2 socs	2 à 3	15 à 18
	3 socs		22 à 26
Labour 25 cm	1 soc	2	13 à 16
	2 socs	3	21 à 26
	3 socs		29 à 33
Hersage moyen	2,50 m	1 à 2	11 à 13
	3 m	2 à 3	16 à 18
	5 m		22 à 26
Canadiennage (10 cm de profondeur)	1,30 m ou 7 dents	2	7
	1,50 m ou 11 dents	2 à 3	9 à 11
	1,75 m ou 13 dents	3	13 à 16
Semis en ligne	2 m	2	13 à 16
	3 m	3	21 à 26
	4 m		26 à 29

● La comparaison de différentes sources d'énergie

Tableau 3. Comparaison des itinéraires techniques et des charges de culture pour la riziculture des quatre pays du PSI¹ (Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal) en 1998

		Mali Office du Niger	Mauritanie Trarza (AGETA)	Niger Cuvettes fleuve	Sénégal Vallée du fleuve
Préparation des sols	Type	Traction animale Labour + hersage + pulvérisage	Motorisation Simple pulvérisage	Traction animale Labour + hersage	Motorisation Simple pulvérisage
	Coût ²	25000 F	13000 F	32000 F	25000 F
Mise en place de la culture	Type	Repiquage manuel	Semis direct	Repiquage manuel	Semis direct
	Dose	50 kg/ha	120 kg/ha	50 kg/ha	120 kg/ha
	Coût	12000 F	26000 F	10000 F	28000 F
Fertilisation	Dose	100 kg DAP 250 kg urée	250 kg urée	300 kg (15-15-15) 200 kg urée	100 kg DAP 200 kg urée
	Coût	70000 F	50000 F	110000 F	50000 F
Contrôle enherbement	Type	Manuel	Chimique	Manuel	Chimique
	Coût	35000 F	40000 F	33000 F	35000 F
Irrigation	Redevance	43000 F	55000 F	90000 F	65 000 F
Main d'œuvre	Coûts	85000 F	70000 F	100000 F	70000 F
Frais financiers		?	?	?	15000 F
Récolte	Récolte	Manuelle	Mécanisée	Manuelle	Mécanisée
	Battage	50000 F	85000 F	20000 F	85000 F
Total des charges		320000 F	339000 F	395000 F	373000 F
Rend' moyen, paddy/ha		5,0 t	4,0 t	5,0 t	4,1 t
Prix de revient/kg paddy		64 F	85 F	79 F	91 F
Prix de vente/kg paddy		120–150 F	140 F	133 F	110 F

1 PSI = Pôle Systèmes Irrigués.

2 Coûts/ha en F CFA.

L'énergie musculaire humaine ou animale est dans ce cas accompagnée d'une meilleure maîtrise des itinéraires techniques. Les exploitations en traction animale dégagent la marge au kilo la plus élevée mais sur quelques hectares seulement par exploitation alors que, suivant le niveau de puissance utilisé, on peut en motorisation travailler plusieurs dizaines d'hectares.

● Les perspectives

L'augmentation de la production agricole ne peut se faire indéfiniment par extension des surfaces cultivées. L'intensification de l'agriculture est une nécessité pour faire face à l'accroissement démographique global ainsi qu'à la croissance encore plus forte de la population urbaine dans de nombreux pays. Elle peut se faire par le développement de la motorisation, en irriguant d'avantage, par l'emploi d'engrais minéraux, mais il faut de l'énergie pour produire les engrais et pour pomper l'eau d'irrigation.

L'Afrique utilise en moyenne seulement 20 kg d'engrais à l'hectare par an contre une moyenne mondiale de 96 kg et elle n'irrigue que 6 % de ses terres cultivables contre 17 % dans l'ensemble du monde. Toute augmentation significative de ces taux d'intrants, conjuguée à une intensification de la mécanisation, aura un impact colossal sur la facture énergétique et sur les pratiques agricoles.

Mais l'intensification ne conduit pas nécessairement uniquement à l'utilisation intensive d'intrants ou de la motorisation. Il est possible de développer la traction animale, d'intensifier les soins aux plantes et aux animaux, de même que les techniques de récolte, de stockage et de transport. Ce qui implique une utilisation accrue et plus efficace d'énergie. Un meilleur entretien des éléments nutritifs du sol, un travail du sol mieux adapté, les cultures intercalaires, l'utilisation des engrais verts et biologiques, l'adoption de techniques économiques comme le semis direct ou le goutte-à-goutte pour l'irrigation et le recours aux énergies solaires et éoliennes pour le pompage sont autant de façons d'économiser l'énergie.

L'ÉNERGIE ANIMALE²

● *Les animaux de trait*

Les bovins, les chevaux, ânes et hybrides, et les dromadaires sont les principales espèces utilisées pour leur énergie dans les agricultures tropicales. L'espèce animale de trait ou de bât retenue en priorité est celle qui est disponible sur place, bien connue des utilisateurs potentiels, rustique et adaptée à la pathologie de la zone, ou celle qui présente les meilleures possibilités d'adaptation s'il est nécessaire de l'y introduire.

● *Les bovins³*

Les bovins sont des animaux rustiques et résistants qui développent une force de traction importante et présentent une bonne résistance à l'effort. Si leur allure est plus lente que celle du cheval, elle permet néanmoins un meilleur contrôle de la machine et du travail effectué. La valorisation en boucherie de la carcasse bovine en fin de carrière constitue un argument économique important dans les régions où la viande des équidés n'est pas consommée.

Les bovins d'Afrique se répartissent en deux sous-espèces, taurins et zébus, qui comportent elles-mêmes de nombreux types. Elles se distinguent morphologiquement et physiologiquement mais peuvent se métisser.

Les critères morphologiques pour apprécier les qualités de trait chez les bovins sont les suivants : conformation compacte, trapue, avec une masse musculaire développée, poitrine ample et profonde, encolure puissante, dos droit, membres puissants et courts, onglons solides. On recherche des animaux lourds puisque la force de traction est proportionnelle au poids de l'animal.

² Pour l'essentiel, ce qui suit est extrait de l'ouvrage *Agriculture africaine et traction animale*.

³ Cf. chapitre 71.

Les femelles bovines

L'utilisation des vaches au travail est relativement récente et postérieure à l'utilisation des mâles, en général castrés. Elle constitue une alternative intéressante à l'utilisation des mâles, en fournissant également du lait et en assurant la relève avec les veaux. L'utilisation des femelles bovines soulève cependant des problèmes :

- la force de traction de la vache est moins grande que celle du bœuf. Elle marche cependant plus vite ;
- les fonctions de reproduction des femelles constituent un handicap ;
- les besoins alimentaires des vaches sont globalement supérieurs à ceux des bœufs.

Ces problèmes peuvent être facilement résolus en utilisant les attelages de vaches à des travaux légers et en programmant les vêlages en intersaison. Le supplément de trésorerie induit par la vache laitière doit permettre de couvrir la complément alimentaire.

● Les chevaux⁴

Les chevaux, les ânes et les hybrides constituent l'alternative la plus fréquente aux bovins. Les chevaux sont retenus pour la rapidité avec laquelle s'effectuent les travaux. Leur dressage est plus facile que celui des bœufs et les attelages plus maniables. La carrière des chevaux est plus longue⁵, ce qui favorise et valorise en même temps le dressage. Le cheval est également utilisé au transport et comme monture. Ce dernier point continue d'en faire un animal de prestige, avec lequel il est aussi très agréable, pour l'homme, de travailler. Chez les équidés, l'utilisation des deux sexes pour le travail est habituelle.

Pour les chevaux, les critères morphologiques pour apprécier un animal de trait sont les suivants : épaule courte et droite, membres puissants et droits, sabots sains et durs. On recherche également des animaux lourds.

● Les ânes et les hybrides⁶

Les ânes sont utilisés dans toute l'Afrique, ils sont très rustiques et s'accommodent de conditions d'alimentation et d'abreuvement médiocres. Ils servent surtout au transport avec des charrettes et pour le bât. Ils peuvent être utilisés aussi à des travaux légers, comme le sarclage, qui demandent de faibles efforts de traction. Néanmoins leur force de traction par rapport à leur poids est plus grande que celle des bovins et va jusqu'au quart du poids de l'animal, alors que pour les autres animaux, ce taux ne dépasse pas 12 à 13 %. Bien que les ânes soient souvent difficiles à mener ensemble, ils peuvent constituer des attelages multiples capables de développer une force de travail comparable à celle d'un attelage bovin. Dans les pays où les ânes sont nombreux, ce type d'attelage pourrait contribuer au démarrage, à moindre coût, de la traction animale pour des agriculteurs qui ne possèdent pas de bœufs.

4 Cf. chapitre 72.

5 Jusqu'à quinze ans, soit deux à trois fois celle des bœufs.

6 Cf. chapitre 72.

Les hybrides (mulets et bardots)

Ils associent la résistance de l'âne à la puissance du cheval. Leur pas, très sûr, a contribué à en faire la principale force de transport en régions montagneuses jusqu'à une époque récente en Europe. Ils sont toujours très utilisés en Afrique du Nord et en Ethiopie, mais pas du tout au sud du Sahara où les populations semblent réticentes à la monte des juments par les ânes, considérée comme contre nature.

● Les dromadaires

Le dromadaire est normalement utilisé comme animal de bât et de monte dans toute sa zone de répartition : Afrique saharienne et sahélienne, Afrique du Nord, Moyen-Orient et nord de l'Inde. Il procure aux nomades qui l'élevent le lait, la viande égale à celle des bovins et les poils utilisés pour le tissage. Il se contente de ressources fourragères qui ne pourraient convenir aux autres herbivores. Outre son aptitude aux travaux cultureux, le dromadaire est le plus souvent utilisé pour l'exhaure de l'eau et pour actionner les moulins.

● *Les formes d'utilisation de la traction animale*

● Le transport

Il ne peut y avoir de développement sans transport. Le transport des personnes et des produits est de loin l'activité la plus importante de toute exploitation agricole. Il est quotidien et se fait en toute saison, à l'intérieur des agglomérations et surtout à leur périphérie et dans les zones rurales agricoles. En Afrique subsaharienne, les transports concernent par ordre d'importance :

- > l'acheminement quotidien des produits pour les usages domestiques, surtout l'eau et le bois ;
- > les travaux des champs, activité saisonnière avec transport des petits matériels, des semences et convoyage des récoltes vers les greniers ;
- > le transport des produits de rente vers les centres de collecte ;
- > les déplacements à caractère social.

● Le portage

Le déplacement à dos d'âne, mais aussi à dos de cheval ou de dromadaire, est courant en zone méditerranéenne, sahélienne et subsaharienne. L'âne est de loin le plus utilisé, sans aucun harnachement (vitesse de 5 à 8 km/h). Le bœuf est parfois employé mais le cheval et le dromadaire sont des moyens de déplacement beaucoup plus nobles. Ils sont harnachés et équipés de selles, spécifiques à chaque espèce, fabriquées localement.

● Le traîneau

Les traîneaux peuvent être de conception rudimentaire : par exemple, deux bois de 150 mm de diamètre reliés entre eux pour former un V, ou simplement une branche en forme de fourche.

Plus étroits que les charrettes, avec un centre de gravité très bas, les traîneaux sont avantageux pour la descente de terrains en pente ou peu portants (sableux ou argileux humides) et pour le transport hors piste.

● La charrette

Le transport par charrette à roues prend de plus en plus d'importance. Il n'est pas réservé aux seuls travaux agricoles. Il sert aussi aux artisans et petits commerçants, acheminant des matériaux en tous genres tels que bois, eau, briques et produits alimentaires vers les villages et les marchés.

La charrette est le matériel de base de la mécanisation en zone rurale. Son emploi doit être considéré comme une action prioritaire pour le démarrage et le développement de la mécanisation du travail agricole en traction animale, en raison de l'importance des besoins de transport en zone rurale et périurbaine et de leur croissance avec l'augmentation de la production.

La classification des charrettes se fait d'après la charge utile (CU), celle que peut supporter une charrette sans déformation ni rupture, en tous terrains.

Tableau 4. Caractéristiques de deux types de charrette de grande diffusion

Charge utile (kg)	Poids à vide (kg)	Dimensions du plateau	Dispositif d'attelage (moyenne)
500	100 à 140 (1m x 2 x 1,20)	Surface : 2 à 2,5 m ²	Limonière (1 animal)
1 000	150 à 200 (1m x 2,3 x 1,50)	Surface : 3 à 3,5 m ²	Timon (2 animaux)

À vide, le timon ou les brancards doivent s'appuyer légèrement sur le joug ou la dossière de l'animal. Il est nécessaire de veiller à l'équilibrage du chargement pour donner aux animaux leurs meilleures possibilités de travail. La charge ne doit jamais être excessive au niveau du joug. À l'opposé, le déséquilibre vers l'arrière est nuisible.

La roue en bois avec cerclage en fer, utilisée notamment en Afrique du Nord, en Egypte et à Madagascar, équipait autrefois tous les chariots avant l'emploi des pneumatiques.

Les roues métalliques sont en voie d'abandon, essentiellement à cause de problèmes de qualité de matériaux et de fabrication. Elles présentaient un avantage certain dans les zones où abondent les épineux.

La charrette à deux roues à pneumatiques

C'est le matériel qui répond le mieux à la diversité des besoins et des situations :

- elle s'adapte à toute forme d'attelage : bovins, équins, asins ;
- elle exige un effort de traction minimal (les roues à pneumatiques ont un meilleur coefficient de roulement que les autres types de roues) ;
- elle offre une grande surface du plateau de chargement ;
- le chargement et le déchargement sont aisés, grâce à une faible garde au sol ;
- le pneu à chambre à air assure une grande souplesse de roulement ;
- les réparations des crevaisons sont relativement simples avec un outillage adéquat.

● Les travaux agricoles en traction animale

● *Le travail du sol en culture sèche*

Le choix d'une technique de travail du sol dépend de nombreux facteurs, en particulier du type de sol, de l'état d'humidité du terrain et du mode de culture pratiqué (cf. chapitre 432).

Le travail du sol en culture sèche a pour objectif :

- > d'ameublir le sol pour permettre une bonne circulation de l'eau et de l'air en profondeur et favoriser le développement des racines, permettre l'infiltration des pluies en surface et assurer des conditions de germination et de levée satisfaisantes ;
- > de lutter contre les mauvaises herbes en arrachant ou en enfouissant les herbes développées, et en favorisant la levée de ces mêmes mauvaises herbes pour les détruire ensuite et diminuer ainsi le stock de graines ;
- > d'enfouir et mélanger à la terre des apports fertilisants, organiques et minéraux, et des amendements.

En régions semi-arides, le travail du sol est soumis à une forte contrainte : la réalisation de semis précoces. D'autant plus impérative que la pluviométrie est réduite, cette contrainte conduit souvent à une préparation du sol minimale exécutée rapidement. C'est ainsi qu'on observe deux modes de préparation en culture sèche, avec ou sans retournement du sol.

Les préparations sans retournement du sol

L'intérêt essentiel des préparations du sol sans retournement est la rapidité d'exécution qui permet un semis précoce. Ces préparations, dites superficielles, sont des techniques d'ameublissement du sol à faible profondeur, n'excédant en général pas 8 à 10 cm, par éclatement des couches superficielles, brassage de la terre disloquée en mottes de différentes tailles, avec mélange des résidus végétaux.

Ces techniques, à l'opposé du labour, nécessitent en général plusieurs passages successifs de matériels dits de pseudo-labour pour parvenir à un ameublissement suffisant et à un lit de semences correct, jusqu'à la germination des graines et au développement des jeunes plantes cultivées. Elles n'assurent pas l'enfouissement de la matière organique et des débris végétaux, mais provoquent plutôt un malaxage de la couche superficielle. Le travail réalisé offre alors généralement moins de prise à l'érosion.

Le labour

Le labour, réalisé au moyen d'une charrue, consiste à retourner les couches superficielles du sol en enfouissant les résidus végétaux, en détruisant les adventices et en ameublissant les blocs de terre à plus ou moins grande profondeur. Il soumet un certain volume de terre à l'action des agents atmosphériques (air, pluie, rayonnement solaire) et permet aussi d'enfouir les herbes, les débris végétaux, les engrais et les amendements. Enfin, les racines ou rhizomes de mauvaises herbes (*Imperata*, riz rouge...) sont détruits en surface par dessiccation.

Le labour est caractérisé par la profondeur de travail, maîtrisable mais limitée par les caractéristiques du matériel et surtout par la puissance des attelages. Ainsi, on peut distinguer :

- > les labours légers de moins de 10 cm de profondeur, réalisables en traction asine ;
- > les labours moyens jusqu'à 15 cm de profondeur ;
- > les labours profonds de plus de 20 ou 25 cm de profondeur, réalisables en traction bovine.

Le labour est un travail important et pénible, qui doit être exécuté rapidement pour ne pas retarder la mise en culture. Le retournement du sol donne une surface plus ou moins chaotique et motteuse qui doit être affinée à l'aide d'un autre outil, la herse, pour obtenir un bon lit de semence.

Le travail de retournement et d'ameublissement peut conduire à une évaporation de surface accrue et à une plus faible minéralisation de l'humus, limitant ainsi les matières minérales absorbables par la plante. Le labour n'est pas recommandé dans les zones arides ou semi-arides.

La charrue à soc et versoir est le matériel le plus utilisé pour la préparation du sol par retournement dans beaucoup de régions tempérées et tropicales. En culture attelée, on rencontre deux grands types de charrues : la charrue simple et la charrue réversible.

La préparation du sol nécessite un effort important et soutenu à une période de l'année difficile pour les animaux du point de vue alimentaire. C'est souvent aussi la période de dressage ou de reprise en main des animaux. La puissance des attelages est donc réduite, ainsi que leur endurance.

Un temps de travail variable

Il est fonction de nombreux facteurs :

- la nature du sol, son état d'humidité, d'enherbement, et la fréquence des obstacles ;
- la nature et la puissance des attelages (docilité, robustesse, vitesse) ;
- le type et l'état du matériel (état d'usure des pièces travaillantes, déformation, grippage d'éléments de réglage) ;
- la qualité des réglages dont la largeur de travail, fréquemment supérieure à la capacité du matériel, laissant des parties non travaillées, et la profondeur, souvent inférieure à celle préconisée.

● **Le travail du sol en culture irriguée**

Il concerne essentiellement la culture du riz. L'irrigation revêt des formes nombreuses, qui se distinguent par une maîtrise de l'eau plus ou moins poussée et une inondation de durée variable, selon les régions et le type d'aménagement. La préparation des sols en rizière dépend du degré de maîtrise de l'eau et du mode d'implantation choisi.

Pour choisir des outils, il importe de bien préciser les objectifs du travail du sol. Ceux-ci peuvent être très différents selon les options prises pour l'implantation de la culture.

● **Les semis, plantations et épandages**

Qu'il s'agisse d'épandre des produits ou d'implanter une culture, les choix techniques sont très largement dépendants des techniques de travail du sol mises en œuvre et de leur qualité. La mécanisation en traction animale des semis ou plantations permet une répartition régulière des semences ou des plants difficile à obtenir manuellement.

● **Les travaux d'entretien des cultures et de récolte**

Les cultures en place doivent être maintenues dans des conditions favorables, en limitant la compétition avec les adventices et en luttant contre les parasites et les maladies. La traction animale, en autorisant des interventions rapides, accroît nettement l'efficacité de ces opérations et diminue leur pénibilité. Elle facilite et accélère aussi les opérations de récolte et permet ainsi de diminuer les pertes.

Le sarclage et le binage

Ce sont les formes d'entretien des cultures les plus pratiquées :

- l'opération de binage, en brisant la croûte superficielle du sol, favorise l'infiltration des pluies et limite l'évaporation à la surface du sol ;
- l'opération de sarclage consiste essentiellement à sectionner les adventices dans le sol à faible profondeur au moyen de pièces travaillantes tranchantes.

Les deux opérations sont souvent combinées, avec le passage d'un outil de sarclo-binage assurant l'ameublissement du sol et le déracinement des adventices.

Le buttage des cultures à plat associe le désherbage à l'apport de terre à la base des plantes. Le passage du butteur nécessite un effort de traction plus important que la houe de sarclo-binage.

Bien qu'il existe des pulvérisateurs à traction animale, les agriculteurs africains les utilisent peu, au profit d'appareils actionnés soit manuellement (pulvérisateur, poudreuse), soit par un petit moteur auxiliaire (atomiseur, appareil ULV).

Hormis pour le soulèvement de l'arachide, l'utilisation de la traction animale au moment des récoltes se limite le plus souvent au transport des produits agricoles.

● **Les problèmes d'utilisation de la traction animale**

Choisir un animal est un acte important qui doit être mûrement réfléchi. Mais il est clair que la décision est souvent guidée par des facteurs externes que l'utilisateur ne maîtrise pas : disponibilités locales, contraintes sanitaires, moyens financiers ou contexte socioculturel. Une fois effectués les choix de l'espèce, de la race et du sexe, il faut créer les conditions d'une bonne utilisation des animaux : logement, alimentation, suivi sanitaire et carrière des animaux. Les éléments présentés ici sont complémentaires de ceux figurant dans la partie consacrée aux principales espèces animales.

● **Le logement**

Le logement doit se situer à proximité du lieu de résidence, de façon à permettre un contact permanent entre l'animal et l'utilisateur. Le logement le plus simple est un enclos de stabulation, où les bêtes restent à disposition de l'homme et où il peut leur apporter alimentation et abreuvement. Il est nécessaire d'y installer au moins des piquets pour attacher les animaux ou mieux, une stalle, couloir de contention où l'animal sera bloqué sur les flancs afin de pouvoir subir des traitements sanitaires.

C'est aussi une aire de repos, qui doit comporter un abri contre les intempéries et le soleil. Enfin, c'est le lieu de concentration des déjections des animaux et il doit, pour cette raison, permettre une récupération du fumier et pouvoir être facilement désinfecté.

Dans un parc, l'abri n'est souvent représenté que par l'ombrage d'un groupe d'arbres. L'étable simple à toit de chaume n'est qu'une version améliorée de cet abri primitif. L'étable fumière est plus élaborée.

● **L'alimentation**

Raisonnement l'alimentation permet d'avoir des animaux de trait en bon état au début de la période de travail et de conserver cet état durant les travaux. Il est important de leur faire passer les périodes critiques dans de bonnes conditions. Les quantités d'aliments à distribuer doivent être calculées en fonction de la ou des productions demandées : travail, travail + viande, travail + lait.

La consommation en eau est fonction des conditions climatiques, de la ration ingérée⁷ et des productions : énergie mécanique dans le cas du travail, lait pour la vache, croissance pour le jeune.

L'organisation de l'affouragement des animaux de trait est une contrainte majeure pour l'exploitant en traction animale. L'agriculteur cherche à éviter une surcharge de travail pour l'alimentation de ses animaux. Le schéma le plus économe en temps consiste à permettre à l'animal de trouver le fourrage dont il a besoin, en s'assurant que ce fourrage est disponible en quantité suffisante et que sa qualité répond aux besoins nutritionnels. Lorsque cela est nécessaire, l'agriculteur procure les aliments que l'animal ne peut trouver seul, notamment les compléments riches.

Il n'existe pas d'organisation *standard* de l'affouragement. L'exploitant est seul en mesure de juger la part d'investissement en temps et en argent qu'il veut y consacrer. En revanche, il ne faut pas oublier qu'il y a avantage à tirer le meilleur parti des ressources peu onéreuses, et à savoir gérer ces ressources.

⁷ Principalement de la quantité de matière sèche consommée.

Prendre en compte plusieurs contraintes

L'organisation de l'affouragement doit tenir compte de contraintes parfois contradictoires, liées à la disponibilité en main d'œuvre de l'exploitation ou à la gestion de l'animal. Il faut :

- limiter les déplacements de l'animal (parcage, attache) pour éviter les dégâts aux cultures et avoir l'animal à disposition en temps voulu ;
- limiter la charge de travail liée à l'affouragement, en laissant l'animal rechercher lui-même sa ration ;
- assurer une alimentation et un abreuvement adéquat, notamment au moment de la mise en condition avant et pendant les périodes de travail.

La culture attelée et l'utilisation de l'énergie animale pour diverses autres tâches d'intérêt agricole représentent une forme d'intégration des animaux dans l'organisation de la production agricole. Elle s'accompagne fréquemment de l'utilisation des sous-produits, voire des produits agricoles comme ressources fourragères, de l'utilisation du fumier pour la fertilisation et parfois de l'introduction de cultures fourragères qui contribuent au maintien de la fertilité des sols.

● Le suivi sanitaire

Il n'existe pas de pathologie spécifique aux animaux de trait. Cependant, une utilisation intense peut les prédisposer à des troubles rencontrés à un moindre degré chez les autres animaux. C'est notamment le cas des plaies cutanées et des lésions des articulations ou des membres, fréquentes chez les animaux de trait et particulièrement chez les chevaux. Cette pathologie est généralement d'origine accidentelle.

Le surmenage et l'utilisation excessive des animaux dans des conditions difficiles, travaillant plusieurs heures sans boire ni manger, constituent les principales causes d'accidents ou de mort. Par ailleurs, certaines maladies ont des conséquences plus graves sur les animaux de trait, car elles les empêchent de travailler⁸. Enfin, la fatigue induite par le travail peut réactiver des maladies plus ou moins latentes ou en exacerber les symptômes⁹.

Les animaux de trait se différencient des animaux en élevage extensif ou même semi-intensif : il s'agit d'animaux de valeur, parfaitement identifiés dont chaque agriculteur ne possède le plus souvent qu'un ou deux exemplaires. Il ne faut donc pas envisager une médecine vétérinaire de masse, mais une médecine de type individuel.

Prévenir avant de guérir

La prévention par l'hygiène est possible grâce aux relations de compagnonnage qui s'établissent entre l'agriculteur et l'animal. L'adoption de règles élémentaires d'hygiène est d'autant plus facile que la conséquence immédiate de la plupart des troubles de santé est l'impossibilité d'utiliser l'animal. Pour maintenir un état sanitaire satisfaisant, il importe donc plus avec les animaux de trait de veiller au respect des règles élémentaires d'hygiène et de travail plutôt que de les soigner, souvent trop tard.

⁸ Dermatophilose par exemple.

⁹ Cas des trypanosomoses.

● La carrière des animaux de trait

La durée d'utilisation des bovins de trait est variable. Elle est bien sûr fonction du mode d'utilisation des animaux, mais aussi des conditions de marché fixant le prix d'achat des jeunes bovins et le prix de vente des bœufs de réforme. Par exemple, une forte demande d'animaux pour le trait, liée à une faiblesse locale du cheptel source, aura tendance à gonfler le prix d'achat des jeunes bovins à dresser. Les propriétaires d'attelage cherchent alors à rentabiliser leur attelage sur une période de huit à dix ans. À l'inverse, une forte demande sur le marché de la viande et une bonne rémunération de la qualité bouchère des carcasses favorise une réforme précoce des bœufs, après une utilisation pour le travail de deux à trois ans. Une réforme précoce peut aussi être une stratégie destinée à limiter les risques de mortalité prématurée dans des conditions pathologiques ou alimentaires difficiles.

En n'utilisant l'animal que sur une période courte¹⁰, on perd, du point de vue du travail, le bénéfice de la *pleine force de l'âge* de l'animal. D'où une difficulté à effectuer les travaux lourds et des répercussions possibles sur les rendements des cultures. À l'inverse, l'utilisation des bœufs de trait sur une période longue (huit à dix ans) permet à l'éleveur de disposer d'un animal lourd, bien connu et bien dressé. Cependant, elle l'expose à des risques croissants d'accidents de carrière, parfois fatals. En outre, la mise sur le marché d'un animal vieux, voire épuisé, rapporte moins que la vente d'un bœuf de quatre à cinq ans.

La durée d'utilisation des animaux de trait relève donc d'un compromis entre divers paramètres, parmi lesquels les conditions de marché jouent un rôle clé.

● Le matériel

La disponibilité locale d'équipements et de pièces détachées est indispensable au développement de la mécanisation agricole en traction animale.

Dans de nombreux pays, la fabrication industrielle d'équipements agricoles a été confrontée à de sérieuses difficultés. Cependant, les usines restent encore des partenaires privilégiés pour des commandes importantes, pour des négociations à l'importation et pour des travaux délicats d'usinage ou de traitement des métaux.

La fabrication artisanale par les forgerons est en plein essor malgré ses contraintes. La matière première est souvent constituée de ferrailles de récupération et, de ce fait, la qualité est inférieure à celle des produits importés. Les forgerons, en s'associant, peuvent acheter des matières premières de qualité et fabriquer des matériels en séries relativement importantes. L'avenir de la mécanisation en traction animale dépend fortement des réseaux de forgerons, qui diffusent les matériels et assurent leur maintenance. Ils peuvent être appuyés notamment grâce à une politique de crédit à l'équipement.

¹⁰ Deux à trois saisons pour une réforme à cinq ou six ans.

LA MOTORISATION¹¹

● Ses principaux usages

La motorisation agricole englobe tout ce qui concerne l'emploi des moteurs pour effectuer les travaux agricoles :

- > les tracteurs avec leurs équipements et les automoteurs ;
- > les motoculteurs et autres engins spécialisés ;
- > les moteurs pour entraîner les machines utilisées à poste fixe ou portées à dos d'homme.

En 1997, plus de 80 % des 26 millions de tracteurs agricoles sont utilisés en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. L'Afrique et l'Amérique du Sud n'en comptent que 1,8 million (6 %).

Tableau 5 : Evolution du nombre de tracteurs utilisés dans le monde (en milliers)

	1974-1976	1980	1985	1990	1997
Total mondial	18 768	21 742	24 504	26 562	26 335
Europe	7 198	8 465	9 374	10 398	11 198
Amérique du Nord	5 936	5 621	5 600	5 814	5 807
Asie	1 895	3 550	4 657	5 614	6 635
Ex-URSS	2 333	2 562	2 798	2 666	
Amérique du Sud	575	660	1 156	1 125	1 291
Afrique	402	455	509	545	557
Océanie	429	429	410	400	401

Source: FAO Yearbook, 1975 vol 29, 1980 vol 34, 1985 vol 39, 1990 vol 44, 1998.

En Afrique les tracteurs, à deux ou quatre roues motrices, sont essentiellement des modèles standards importés, parfois assemblés, mais rarement conçus localement. Leur nombre a plus que doublé en Afrique du Nord en vingt ans. Leurs effectifs augmentent peu en Afrique subsaharienne et diminuent en Afrique du Sud. Les tracteurs dits *de motorisation intermédiaire*, de faible puissance (25 à 30 ch), sont peu répandus. Environ 1 400 unités sont utilisées essentiellement en Côte d'Ivoire, au Burkina, au Cameroun et au Mali.

Les machines de récolte automotrices utilisées en Afrique sont principalement des moissonneuses-batteuses, dont 90 % sont utilisées en Afrique du Nord et en Afrique du Sud.

Les motoculteurs, peu utilisés dans les pays africains, ne sont pas pris en compte dans ces statistiques. Par contre, l'emploi de moteurs sur des machines utilisées à poste fixe ou portées à dos d'homme est très développé. Leur utilisation est facilitée par la diffusion de cellules autonomes, compactes et légères, faciles à déplacer tant pour les travaux au champ (irrigation, traitement) qu'en bordure de champ après la récolte (battage, triage, vannage, broyage). Le nombre de moteurs ainsi utilisé est nettement supérieur au nombre de tracteurs.

¹¹ Extraits du manuel : *la motorisation des cultures tropicales*.

À titre d'exemple, au Sénégal, il y a environ 500 tracteurs et plus de 5 000 moteurs utilisés à poste fixe pour le pompage, le battage, le décortiquage et la mouture.

En agriculture, le concept de motorisation dépasse donc le cadre strict de l'emploi des tracteurs et autres machines automotrices pour s'appliquer à tout ce qui touche à l'utilisation des moteurs comme source d'énergie pour réaliser des travaux. En Afrique subsaharienne, la motorisation concerne, à des degrés variables, les travaux de défrichage et d'aménagement des terres ; les travaux culturels, de récolte, de post-récolte ; les apports en eau, en éléments fertilisants et en produits de traitement et les transports.

La motorisation des travaux culturels concerne principalement le travail du sol. Les autres façons culturales sont réalisées manuellement et en traction animale. La combinaison d'opérations mécanisées et manuelles, ainsi que l'utilisation à poste fixe de quelques matériels spécifiques comme les batteuses à mil, les égreneuses à maïs ou les décortiqueurs à riz est originale. Pour les transformations post-récolte, les installations industrielles traitent surtout les produits destinés à l'exportation. Les unités artisanales ou semi-industrielles sont beaucoup plus adaptées aux besoins des marchés locaux.

● ***Les critères de choix d'un équipement motorisé***

● **Les critères généraux**

À l'échelle d'un pays, la motorisation agricole pose des problèmes qui dépassent largement le cadre du choix technique et du coût des équipements. Il s'agit de choisir les formules les plus appropriées pour atteindre des objectifs de développement économique. Il faut prendre en compte l'environnement dans lequel sera utilisée cette motorisation, évaluer l'intérêt de son introduction, étudier les conditions de sa mise en œuvre et proposer les niveaux de puissance et les équipements les plus adaptés. Plusieurs éléments déterminent le type de mécanisation à adopter et son développement : la demande de produits agricoles, l'offre et le coût de la main-d'œuvre, le volume et le coût des capitaux disponibles et le coût d'exploitation des machines. Il est fréquent que l'option retenue combine l'utilisation de divers niveaux de mécanisation.

Comment, dans un contexte déterminé, choisir une solution motorisée adaptée à l'environnement économique et social, permettant de satisfaire les exigences de production, de superficies à mettre en culture, de calendriers culturels, du parcellaire, des variétés cultivées et des conditions de transformation post-récolte ? Globalement, les choix techniques s'articulent autour de deux axes : les niveaux de puissance et le type de motorisation. La recherche d'économies d'échelle favorisait autrefois le choix de gros matériels que seules les grandes exploitations pouvaient acquérir. Actuellement, grâce aux innovations techniques et aux possibilités de location, la motorisation peut aussi s'appliquer aux petites exploitations, soit partiellement pour une opération culturelle, soit pour la majorité des opérations.

● Les critères techniques

En fonction des conditions d'utilisation des équipements habituellement rencontrées, quatre catégories de puissance sont arbitrairement retenues : moins de 30 ch, de 30 à 60 ch, de 60 à 90 ch et plus de 90 ch.

● *Les tracteurs, les motoculteurs et les automoteurs de moins de 30 ch (22 kW)*

Ils correspondent à la motorisation employée en riziculture en Asie. Ils n'existent plus dans les pays développés que pour les matériels d'espaces verts, de maraîchage et de viticulture. Dans la zone cotonnière d'Afrique francophone, des tentatives ont été faites avec des tracteurs de faible puissance.

● *Les tracteurs de 30 à 60 ch (22 à 44 kW)*

Ce sont généralement des tracteurs à deux roues motrices employés dans les pays développés pour les travaux peu exigeants en puissance : semis, épandages d'engrais, traitements... Ils disparaissent de plus en plus. Dans les pays en développement, ces tracteurs servent habituellement au transport.

● *Les tracteurs et automoteurs de 60 à 90 ch (44 à 66 kW)*

Ce sont les mieux représentés dans les exploitations moyennes des pays industrialisés. Les modèles à quatre roues motrices sont désormais les plus nombreux. Dans les pays en développement, ils sont la propriété d'entrepreneurs de travaux agricoles et de certaines grandes exploitations. Ils réalisent les travaux du sol et parfois les transports quand des remorques adaptées existent. Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses, des pulvérisateurs, des récolteuses à maïs... Seules les moissonneuses-batteuses sont utilisées de façon significative dans les pays en développement.

● *Les tracteurs de plus de 90 ch (66 kW)*

Ils sont répandus dans les entreprises de travaux agricoles des pays industrialisés et dans les grandes exploitations. Dans les pays en développement, ils appartiennent à quelques grosses entreprises de travaux agricoles et aux agro-industries. Ils servent principalement aux travaux d'aménagement, aux travaux du sol et aux transports. Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses ou des récolteuses-chargeuses, par exemple pour la canne à sucre.

Chaque fois que c'est possible, on a intérêt à utiliser des équipements que l'on peut adapter aux conditions de travail, par exemple en faisant varier la largeur de travail de certains outils, en passant de trois à deux socs sur une charrue ou de six à quatre éléments sur un semoir. Pour utiliser un même matériel avec des tracteurs différents, les systèmes d'attelage et les vitesses de prise de force doivent être compatibles. Il ne faut pas oublier de tenir compte de la capacité du relevage, c'est-à-dire du poids maximum autorisé. Il faut rechercher des prises de force normalisées, c'est-à-dire s'assurer de leur position (haute ou basse), des dimensions et de la vitesse de rotation.

Les matériels doivent être livrés montés et en état de marche, avec les livrets de conduite et d'entretien, ce qui permettra de s'assurer de leur bon fonctionnement. Une démonstration peut être souhaitable pour une prise en main plus rapide et pour une meilleure maîtrise des réglages, surtout dans le cas d'une première introduction.

Des critères particuliers importants

Dans une chaîne d'équipements, les matériels doivent avoir une largeur de travail compatible avec celle des autres machines. C'est le cas d'une bineuse-sarclouse utilisée après un semis en ligne. Avec un semoir de six rangs, la bineuse devra permettre de travailler en un seul passage six, trois, deux ou un rangs, c'est à dire un nombre de rangs égal au nombre de rangs semés au semoir ou un sous-multiple. Il faut également choisir des matériels travaillant sur une largeur au moins égale à celle du tracteur pour éviter de rouler sur un sol déjà travaillé.

Avec les grandes puissances et pour les matériels exigeant technicité et précision, tels que les semoirs en ligne et les bineuses, il est parfois plus intéressant de limiter le nombre de rangs et d'augmenter la vitesse plutôt que de prévoir une largeur plus grande à vitesse réduite. Dans certains chantiers, il est même parfois indiqué d'employer un tracteur moins puissant. C'est pourquoi les capacités théoriques de chaque chaîne de mécanisation doivent être adaptées aux conditions locales.

Il faut enfin être particulièrement prudent avec les matériels dont l'utilisation inconsidérée risque d'augmenter les phénomènes érosifs, tels les cultivateurs.

● **Les problèmes d'utilisation**

● **L'environnement de la motorisation**

● **L'approvisionnement**

Les possibilités d'approvisionnement en équipements varient énormément suivant les pays. Rares sont ceux disposant d'unités de fabrication industrielle. Quelques-uns possèdent des unités de montage ou d'assemblage pour un nombre restreint de matériels. Les pays africains sont donc fortement dépendant des conditions d'approvisionnement en machines et en pièces détachées : problèmes de devises, de délais d'acheminement, de disparité des marques et des modèles. Le marché de l'occasion, issu du parc de réforme des matériels des pays industrialisés, offre de nouvelles perspectives. Mais les circuits ne sont pas encore très organisés et ne permettent pas, le plus souvent, de contrôle de qualité.

● **Les infrastructures**

Les infrastructures d'entretien et de réparation s'organisent assez rapidement aux abords des grands centres urbains et commerciaux, mais restent quasi inexistantes dans les zones rurales éloignées. La maintenance est fortement pénalisée par l'impossibilité de s'approvisionner rapidement en pièces détachées d'usure courante qui sont importées à la demande. Elle est rendue difficile par le manque d'infrastructures techniques de qualité pour les réparations et les contrôles et par la rareté ou le manque de compétence des mécaniciens. Ces derniers sont souvent contraints de procéder à du bricolage avec du matériel de récupération.

● **Les moyens financiers**

La motorisation coûte relativement cher à l'achat et en fonctionnement. Le recours aux emprunts est fréquent. Des mesures d'accompagnement en matière de fiscalité et de crédit favorisent l'introduction des équipements. Dans certaines situations, les producteurs sont contraints de réaliser des prestations de service pour obtenir les liquidités nécessaires au fonctionnement.

● La compétence du personnel

La compétence du personnel chargé d'utiliser et de gérer des matériels aussi coûteux est impérative et ce facteur est trop souvent négligé. Pour les utilisateurs, la formation s'opère le plus souvent *sur le tas* par approche progressive. Trop souvent cette formation insuffisante se traduit par une mauvaise utilisation pénalisant la qualité du travail ou du produit, le rendement et la durée de vie de la machine, ce qui génère un coût de fonctionnement exagérément élevé et une diminution des recettes.

Des compétences variées et complémentaires

Les compétences sont différentes pour les mécaniciens, les chauffeurs et les responsables et elles doivent se compléter. Les mécaniciens, chargés de l'entretien et des réparations, doivent posséder un minimum de notions sur les conditions d'utilisation et les différents réglages des machines pour en assurer le bon fonctionnement. Les chauffeurs doivent connaître la conduite de leur machine avec leurs matériels d'accompagnement ainsi que tous les réglages et les entretiens courants.

Les responsables, qu'ils soient propriétaires, présidents ou gestionnaires d'organisations paysannes, doivent avoir des notions sur la conduite et l'entretien des matériels pour être en mesure de dialoguer avec les chauffeurs et les réparateurs. Ils doivent aussi posséder un minimum de connaissances sur les conditions d'intervention pour apprécier, contrôler et faire rectifier les réglages permettant d'améliorer la qualité du travail et la rentabilité de la machine. Généralement on se préoccupe peu des responsables dans les programmes de formation technique, alors que ce sont souvent eux qui décident de la nécessité ou non d'effectuer des entretiens. Ceci suppose l'organisation de formations pratiques dans les conditions d'utilisation des matériels.

En regard des sommes importantes engagées, les responsables doivent avoir une formation en gestion¹², en programmation et organisation des chantiers¹³. Ces besoins ont été renforcés par le désengagement des Etats et l'acquisition de matériels par des paysans et des entrepreneurs mais il existe encore peu de programmes de formation appropriés. Ces compétences en programmation et organisation des chantiers sont indispensables pour avoir une bonne maîtrise technique de la motorisation, préalable indispensable à la maîtrise économique.

● Les conditions d'utilisation de la motorisation

Le défrichage et l'essouchage sont indispensables pour l'utilisation des tracteurs. Contrairement à la traction animale, les tracteurs ne peuvent se satisfaire d'un essouchage partiel, sous peine de détérioration rapide des matériels. C'est pourquoi l'utilisation du tracteur concerne principalement les savanes herbeuses, les fonds de vallée et les plaines inondables dépourvues de souches.

La motorisation permet généralement d'augmenter de façon importante la productivité du travail. Elle répond à des besoins d'augmentation de la production ou des surfaces cultivées, de remplacement ou de complément d'une main d'oeuvre insuffisante, non disponible ou plus chère. L'avantage attendu de l'utilisation de nouvelles machines est alors de réduire le coût de production en substituant la nouvelle technique à la main d'œuvre, à des animaux de trait ou à de vieilles machines.

Selon la Banque mondiale, les principaux facteurs qui influent sur l'utilisation de tracteurs sont l'intensification de l'agriculture, souvent associée à une extension des superficies irriguées, la croissance des capitaux disponibles et l'amélioration des routes.

¹² Crédit, comptabilité, facturation, calculs de coûts.

¹³ Choix des clients, contrats, connaissances des performances.

Les conditions favorables à l'utilisation de la motorisation évoluent parfois très rapidement. Dans le conseil en équipement, il faut donc tenir compte des perspectives d'évolution, au moins sur les durées prévisibles d'amortissement.

Les différents cas de motorisation d'opérations culturales sont les suivants :

- > simple substitution de la machine à la main-d'oeuvre sans changement de technique ;
- > emploi d'une machine nécessitant un changement de technique (récolte de l'arachide par exemple) ;
- > emploi d'une chaîne de machines interdépendantes utilisées pour des opérations culturales différentes comme le semis, l'entretien et la récolte à écartement constant entre rangs. Motoriser une succession de travaux agricoles signifie que le choix d'un type de motorisation pour une opération donnée est lié à l'ensemble des opérations mécanisées. Cela implique d'une part l'utilisation d'équipements adaptés au type et à la puissance de la cellule motrice et d'autre part la nécessité d'exécuter les opérations avec méthode et avec du matériel approprié.

● Le contexte socio-économique

Les choix adaptés techniquement doivent être rentables. Trois éléments économiques sont fondamentaux : la valeur marchande des produits, le coût des opérations motorisées et celui de la main d'œuvre. En général, la motorisation se développe avec les hausses du coût de la main-d'œuvre. Mais il est nécessaire que le prix de vente de la production soit suffisamment élevé pour favoriser l'investissement et couvrir les différentes charges d'exploitation.

La diffusion de la motorisation, freinée généralement dans les pays en développement par la faiblesse des revenus des exploitants, doit viser la réduction des coûts de production et l'amélioration de la productivité du travail. Localement, les résultats économiques de la culture dépendent fortement des contraintes pesant sur la productivité de la terre, du travail et des plantes.

Les modes d'accès à la motorisation sont variés. En petite motorisation, le matériel appartient en général à l'exploitant, mais il peut être aussi emprunté ou loué. La motorisation de la transformation des produits existe en milieu rural. Mais la majorité des équipements se trouvent dans les centres urbains et sont la propriété de fonctionnaires, de commerçants ou de salariés. En motorisation conventionnelle, le matériel appartient soit à des particuliers, paysans, soit à des collectivités ou des entreprises.

L'utilisation en commun des matériels agricoles

L'utilisation individuelle pour les besoins propres de l'exploitation s'était développée sur les fermes d'Etat créées par certains pays dans les années soixante. À la même époque, des organismes publics ou parapublics de motorisation ont été mis en place pour réaliser des travaux à façon chez les paysans. Avec le désengagement des Etats, ces fermes et ces organismes publics et parapublics ont abandonné la motorisation. Les matériels ont été acquis par des privés qui les utilisent sur leur propre exploitation et pour des prestations de service chez les petits paysans.

De nombreux projets d'utilisation en commun de matériels, de type CUMA (coopérative d'utilisation de matériel agricole), appelés suivant les zones groupements mécanisés ou groupements d'intérêts économiques, ont été favorisés. Bien que ces projets n'aient pas eu le développement attendu, l'utilisation en commun de matériels agricoles peut s'avérer intéressante dans certaines situations.

● L'économie de la motorisation

Pour une même opération, des modèles très différents de machines existent à des prix extrêmement variables. Leur utilisation nécessite des modes d'organisation spécifiques des chantiers, tenant compte des performances.

Le cas du battage des céréales

Une batteuse à pédale coûte 300 euros, un modèle à moteur 6 000 euros et une moissonneuse-batteuse 75 000 euros. Les rapports de prix s'étalent de un à deux cent cinquante.

Si une batteuse à pédale peut être acquise par un paysan sur une exploitation de 2 à 3 ha, une batteuse à moteur et une moissonneuse-batteuse ne sont accessibles qu'à des groupements de paysans et à des privés, à condition que des mesures d'accompagnement existent : crédit agricole, aides à l'équipement...

Le choix d'un matériel doit pouvoir se justifier économiquement, c'est-à-dire être rentable grâce à une augmentation sensible de la productivité du travail. Il est nécessaire de réaliser, avant tout investissement, une étude économique préalable. Pour que le calcul de rentabilité soit réalisé correctement, il faut établir le prix de revient prévisionnel des opérations motorisées. Puis replacer les charges de mécanisation dans un compte d'exploitation prévisionnel, afin de s'assurer de l'intérêt de la mécanisation. Le prix de revient de travaux mécanisés est facile à calculer lorsque toutes les dépenses effectuées sont enregistrées, ce qui est rarement le cas dans les pays en développement.

Il faut enfin garder à l'esprit que la motorisation a des incidences sur l'économie nationale des pays en développement. Les coûts en devises de l'importation des matériels, des pièces détachées et, dans de nombreux cas, des carburants et des lubrifiants sont très importants. Une compensation en devises est, éventuellement, réalisée par des dons de matériels (encore importants), une diminution des importations alimentaires ou une augmentation des exportations. À l'échelle des pays, des mesures d'accompagnement (fiscalité, subventions) existent pour les matériels et les carburants et influent directement sur la rentabilité et les coûts de la motorisation pour les producteurs et les entrepreneurs.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES¹⁴

● Leurs principaux usages

● Les séchoirs solaires

Il s'agit de transformer en chaleur l'énergie du rayonnement solaire reçu à la surface de la terre en interposant une matière dense et opaque. On estime la quantité d'énergie ainsi disponible entre 4 et 6 kWh/m²/j au sol dans des conditions favorables (ciel clair).

Trois grands éléments permettent de classer les équipements :

- > *séchage direct ou indirect* : le produit est exposé directement ou non au rayonnement solaire ;
- > *ventilation naturelle ou forcée* : l'air de séchage s'écoule naturellement ou est accéléré par ventilation mécanique (généralement avec un moteur électrique) ;
- > *tout solaire ou mixte* : l'énergie solaire est seule utilisée pour chauffer l'air de séchage ou vient en appoint d'une autre source d'énergie.

La maîtrise technologique des séchoirs solaire existe. Leur diffusion est liée aux conditions climatiques, aux types de produits à sécher et à la qualité recherchée. Si les conditions climatiques sont défavorables (air humide, absence d'ensoleillement), une énergie d'appoint s'impose (biomasse, gaz). La diminution des pertes après récolte, une augmentation de la durée de conservation et un prix de vente plus élevé, lié à une augmentation de la qualité par le séchage solaire, peuvent permettre l'amortissement du matériel.

● Les pompes solaires

Par le biais de cellules photovoltaïques, l'énergie du rayonnement solaire est convertie en courant continu basse tension. Les modules standards actuels fournissent une puissance moyenne de 100 W/m² sous un rayonnement solaire de 1000 W/m². Par convention on utilise le Wc (watt crête) pour désigner la puissance obtenue avec un rayonnement solaire de 1 000 W/m² à 25°C. Ces technologies de pointe, qui datent d'une trentaine d'années, tend à se banaliser avec des coûts de production de plus en plus bas et des rendements de conversion plus élevés.

Les pompes solaires sont des pompes électriques alimentées par un générateur photovoltaïque. On distingue les systèmes *au fil du soleil*, sans stockage d'énergie, le débit de l'eau étant directement proportionnel à l'énergie lumineuse, ce qui nécessite de stocker l'eau, et les systèmes équipés de batteries, de moins en moins utilisés.

Des milliers de systèmes de pompage photovoltaïques ont été installés en Afrique, particulièrement en Afrique francophone. Différents dimensionnements existent, de 80 à 5 000 Wc, avec une hauteur manométrique de 1 à 100 m et des débits de 5 à 500 m³/h. Leur grande fiabilité ne suffit pourtant pas à les rendre compétitifs face aux pompes diesel du fait des coûts d'investissement élevés.

¹⁴ Extraits de *Energie et développement durable en milieu rural en Afrique - Dossier pédagogique - Fiche N° 2 Les choix énergétiques en milieu rural et la place des énergies renouvelables*. Jean-François ROZIS, GERES, 12 p, mai 1997, plus compléments au sujet de la biomasse et de son utilisation.

● L'énergie éolienne

Il s'agit de récupérer l'énergie contenue dans l'air en mouvement. Cette énergie est fonction de la vitesse du vent et de la surface exposée au vent. L'utilisation de la puissance mécanique ainsi générée est soit directe (mouture, pompage), soit indirecte (production d'électricité via un générateur). Deux applications principales sont recensées : les éoliennes de pompage et de production électrique (aérogénérateurs).

● Les éoliennes de pompage

L'énergie mécanique produite est utilisée pour le pompage de l'eau par le biais d'une pompe à piston.

Les éoliennes de pompage sont caractérisées par une faible vitesse de rotation et un couple de démarrage élevé : démarrage avec 3 à 4 m/s et arrêt lorsque le vent dépasse 10 à 12 m/s. La puissance obtenue, généralement inférieure à 10 kW, est proportionnelle au carré de la surface balayée par le rotor (en moyenne de 1 à 2 m³/h/m² balayé pour 1 m de hauteur manométrique), et au cube de la vitesse du vent.

Il s'agit d'une technologie très ancienne avec des milliers de systèmes à travers le monde. De nouveaux modèles plus légers et de meilleur rendement sont en cours de développement. Pour des systèmes rustiques, la maintenance consiste à lubrifier régulièrement et remplacer les pales défectueuses (en particulier les voiles en tissu).

Cette technologie nécessite des vents de 3 à 4 m/s minimum.

● Les aérogénérateurs

L'énergie contenue dans l'air en mouvement est convertie en courant électrique (alternatif ou continu). Les aérogénérateurs sont équipés d'un rotor rapide de deux ou trois pales, couplé à un stockage ou non de l'électricité (inutile pour les équipements connectés au réseau électrique).

Ces systèmes demandent une bonne technicité même pour les tailles réduites. Peu de pays en développement en fabriquent (Chine, Inde). Les applications actuelles restent pilotes en milieu rural sauf en Mauritanie. La contrainte initiale reste le choix du site, qui nécessite une évaluation précise du régime des vents au cours de l'année. D'autre part les niveaux d'investissement restent élevés (6 000 à 7 500 euros/kW installé).

Il faut toutefois souligner que l'énergie éolienne a retrouvé une place de choix dans les programmes énergétiques des pays industrialisés, compte-tenu de l'évolution technologique pour les fortes puissances qui permet d'obtenir un coût du kWh produit inférieur à celui des centrales classiques. D'importants programmes d'installation se généralisent en Europe.

● Le biogaz

Par un procédé de fermentation hors oxygène, les composés organiques (déjections humaines ou animales) produisent un dégagement composé essentiellement de méthane appelé biogaz. Cette production de biogaz nécessite la mise en place d'un digesteur dimensionné aux quantités à traiter. Ce gaz peut être destiné à des utilisations domestiques ou artisanales.

Les digesteurs à biogaz se caractérisent par leur capacité (6 à 12 m³ pour le modèle familial, jusqu'à plus de 100 m³ pour les unités industrielles) et le type d'installation :

- > *le type chinois* (dôme fixe) produisant de 0,15 à 0,3 m³ de biogaz par jour en moyenne sur l'année ;
- > *le type indien* (dôme flottant) produisant de 0,3 à 0,6 m³ de biogaz par jour en moyenne sur l'année.

Les digesteurs produisent du gaz essentiellement pour la cuisson des aliments et l'éclairage, ainsi qu'un effluent solide constituant un bon engrais azoté.

Bien que diffusé à des millions d'exemplaires (10 millions en Chine), ils peuvent se heurter à des tabous liés à l'usage des excréments humains.

Les contraintes techniques sont essentiellement des contraintes de disponibilité en eau, la lenteur du démarrage du processus bactériologique et la difficulté de stockage et de transport du gaz.

● La biomasse

Les combustibles d'origine végétale sont en majorité composés de cellulose et lignine. Par combustion en présence d'oxygène, ils dégagent de la chaleur et de l'énergie lumineuse (flamme) ainsi que de la fumée ayant des caractéristiques bactériostatiques intéressantes pour la conservation des denrées alimentaires.

C'est à d'autres formes de présentation de la biomasse que nous nous intéressons ici. L'agriculture peut, en effet, être elle-même productrice d'énergie grâce aux cultures énergétiques dont les produits ou sous-produits fournissent de l'énergie : gazéification du bois ou des résidus agricoles, huiles végétales utilisées en substitution du gasoil, production d'alcool.

● Les gazogènes

Très utilisés en Europe durant la dernière guerre mondiale, ils produisent un gaz pauvre à partir de la combustion partielle de la biomasse : bois, résidus agricoles. Ce gaz peut être brûlé directement ou utilisé dans un moteur à combustion interne.

Les gazogènes se justifient par des applications industrielles dans des sites boisés isolés. Mais leur usage implique de nombreuses contraintes techniques : maintenance, dégagement de fumées... Cette technique est très utilisée au Brésil.

● Les carburants de substitution

L'utilisation d'huiles végétales (coprah, palme, coton, arachide) est désormais possible en substitution du gasoil ou en association gasoil + huile + alcool. L'alcool (éthanol) produit à partir de la canne à sucre est par ailleurs utilisé en substitution à l'essence ou en mélange essence + alcool.

Le Brésil est le pays qui a le plus développé la culture de la canne à sucre en vue de produire de l'alcool carburant. Le développement de cette technologie se heurte, compte-tenu du prix de revient de la canne à sucre, à la concurrence avec les produits pétroliers et à la meilleure valorisation de l'alcool destiné à la consommation humaine.

● L'énergie hydraulique

Tout comme l'air, il est possible d'utiliser l'énergie contenue dans l'eau avec l'avantage supplémentaire de pouvoir la stocker avant utilisation (lacs de barrage, retenues). La gamme d'utilisation est tout aussi étendue que pour l'énergie éolienne. Son utilisation doit tenir compte des aspects écologiques (faune et flore) et des conséquences sur l'usage agricole (irrigation, abreuvement).

L'énergie hydraulique est utilisée depuis très longtemps, sous forme d'énergie mécanique transmise par l'arbre d'une roue à aubes : moulins à grains, scieries, entraînement de machines textiles, etc. Ces applications sont encore largement utilisées. Néanmoins une utilisation plus souple et beaucoup plus étendue de l'énergie hydraulique est apparue au ^{xx}e siècle : la production d'électricité. Celle-ci peut s'opérer à presque toutes les échelles de la production électrique : depuis la production domestique (pico, micro-centrale hydraulique de quelques dizaines de watts à quelques kilowatts) jusqu'à la production nationale (grandes centrales de plusieurs centaines de mégawatts).

La construction de grandes centrales, très fréquente dans les années 60 à 90, devient plus rare car les sites utilisables sont désormais peu nombreux et les impacts sociaux et écologiques sont très lourds : déplacement de populations, etc.

La micro ou la mini-centrale hydraulique

Son champ d'application est très vaste. De nombreux cours d'eau sont encore peu équipés, les impacts sociaux y sont positifs et l'intégration environnementale est facile. La micro-hydraulique peut aussi être complémentaire d'autres usages de l'eau : irrigation, adduction d'eau potable, etc. Il faut cependant faire attention à ne pas générer de concurrence concernant l'utilisation de l'eau. Elle est bien adaptée à l'électrification des sites isolés, là où le réseau électrique ne peut s'étendre pour des raisons économiques.

La mini et la petite hydro-électricité sont très largement répandues en Asie (plus de 8 000 mini ou petites centrales en Chine) et en Amérique latine, où elles produisent des milliers de mégawatts. Comme pour l'énergie photovoltaïque, les coûts initiaux sont élevés et très liés au réseau électrique à mettre en place. Par contre, les coûts de fonctionnement sont faibles. Les coûts du kWh varient fortement avec le niveau de puissance installé. Il faut enfin noter que la mise en œuvre d'un équipement hydro-électrique peut largement faire appel aux compétences locales.

● *Les problèmes de l'utilisation des énergies renouvelables*

Le coût de l'investissement initial pour les énergies renouvelables est, en règle générale, plus important que pour les énergies conventionnelles et les durées de retour des investissements sont très variables. L'ensemble des applications liées aux énergies renouvelables a cependant atteint une maturité technologique et les blocages majeurs restent socio-économiques.

Bibliographie

Agriculture africaine et traction animale, 1996, CIRAD, 355 p.

Energie et développement durable en Afrique, dossier pédagogique du GERES, mai 1997, fiche n°1
L'énergie en milieu rural en Afrique, Alain GUINEBAULT, 4 p., fiche n°2 *Les choix énergétiques en milieu rural et la place des énergies renouvelables*, Jean-François ROZIS, 12 p.

Guide de l'énergie, Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Ministère de la Coopération et du Développement, ACCT.

La motorisation dans les cultures tropicales, 1998,. CIRAD, 351 p.

Spore, n°88, août 2000, *Energie et Agriculture*, p. 1 et 2.



5 AGRICULTURE SPÉCIALE

- 5.1 Les plantes comestibles**
- 5.2 Les cultures fourragères**
- 5.3 Les plantes à autres usages**
- 5.4 Glossaire**



5 1

Les plantes comestibles

- 5.1.1 Les céréales
- 5.1.2 Les autres amylacées
- 5.1.3 Les légumineuses à graines
- 5.1.4 Les plantes oléagineuses
- 5.1.5 Les espèces fruitières
- 5.1.6 Les légumes
- 5.1.7 Les plantes stimulantes
- 5.1.8 Les plantes à épices
- 5.1.9 Les cultures sucrières

Les céréales

À partir des contributions de N. Ahmadi (CIRAD),
 J. Chantereau (CIRAD), C. Hekimian Lethève,
 J.L. Marchand (CIRAD), B. Ouendeba (ROCAFREMI-ICRISAT)

- > Le blé
 - > Le maïs
 - > Le mil
 - > Le riz
 - > Le sorgho
- > Les céréales secondaires :
 l'éleusine, le fonio, les larmes de job,
 le millet commun, le millet indigène,
 le millet des oiseaux, le panic, le teff

LE BLÉ

Triticum aestivum ssp aestivum (blé tendre) et *Triticum turgidum ssp. durum* (blé dur)
 Anglais : bread wheat ; durum wheat
 Espagnol : trigo harinero ; trigo castalino
 Portugais : trigo
 Famille des Poaceae

● L'origine et l'aire de culture

Triticum aestivum est une espèce issue du croisement de *Triticum turgidum* et *Triticum tauschii*. Les diverses variétés de blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) sont issues de l'amidonier cultivé, lui-même issu du croisement *Triticum urartu* x *Aegilops speltoides*. L'ensemble de ces espèces est originaire du Proche-Orient, de la Mésopotamie et d'Ethiopie.

Le blé dur constitue 5 % de la production de blé des pays en développement ; il est produit à 80 % au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, dans des zones de climat semi-aride ou aride. Le blé tendre est produit sous des climats plus humides.

● Les utilisations du blé

Les grains de *T. aestivum* sont utilisés pour fabriquer de la farine panifiable (haute teneur en gluten qui donne son élasticité au pain), et de la farine utilisée en pâtisserie ou biscuiterie. Les variétés de *T. durum* donnent de la farine qui sert à fabriquer les pâtes et la semoule.

L'essentiel du blé est transformé pour l'alimentation humaine. L'industrie en utilise une petite partie pour produire de l'amidon, du malt, du dextrose, du gluten et de l'alcool. Les grains de qualité inférieure et les sous-produits sont utilisés dans l'alimentation animale. La paille sert également de fourrage, de litière ou pour confectionner des chapeaux.

● La plante

Le blé est une plante annuelle. Son système racinaire est fasciculé et comprend cinq à six racines primaires et de nombreuses racines secondaires. Les tiges partent du plateau de tallage ; on distingue le brin-maître ou talle primaire et les talles secondaires et tertiaires. Les tiges mesurent de 0,45 à 1,70 m en fonction de la variété, des conditions climatiques et de l'emploi éventuel de raccourcisseurs. Elles possèdent de cinq à sept nœuds ainsi que trois ou quatre feuilles.

Chaque tige peut produire un épi composé d'un axe ou rachis portant de nombreux épillets. Les épillets sont séparés par de courts entre-nœuds. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé, comprenant deux bractées stériles (appelées glumes) qui enveloppent deux à cinq fleurs.

Chaque fleur est portée par un court pédicelle et enfermée entre deux bractées appelées glumelles. La fleur hermaphrodite possède trois étamines et le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux. Le blé est une espèce surtout autogame, pollinisée par le vent. Après fécondation, chaque fleur donne naissance à un fruit unique, le grain de blé.

Le cycle du blé comprend cinq phases :

- > *germination-levée* : la germination commence lorsque le grain a absorbé le quart de son poids d'eau ;
- > *tallage* : les tiges secondaires apparaissent durant cette phase qui dure quarante à cinquante jours ;
- > *montaison* : les tiges s'allongent mais les épis ne sont pas encore apparents ;
- > *épiaison-floraison* : les épis apparaissent puis la plante fleurit ; les étamines apparaissent une fois la fécondation terminée. Cette phase dure environ trente jours ;
- > *développement et maturation des grains* : les grains acquièrent leur forme et leur taille définitive, puis leur consistance évolue ; ils passent du stade laiteux au stade pâteux puis au stade grain dur.

La durée totale du cycle est de l'ordre de cent vingt à cent cinquante jours en milieu tropical. Plante des climats tempérés, le blé se développe entre 50° de latitude Nord et Sud. Elle a besoin d'un minimum de cent jours sans gel pour se développer et nécessite en culture pluviale de 400 à 500 mm de précipitations pendant son cycle. Le blé a surtout besoin d'eau en début de cycle (de la germination au tallage), puis durant la quinzaine qui précède l'épiaison.

La température minimale de germination des graines est de 3°C, l'optimum étant 27°C. La floraison ne peut débuter que si la température dépasse 14°C et est optimale à 16,5°C. La maturation est optimale autour de 20°C.

Le blé préfère les sols profonds et bien structurés, à pH voisin de la neutralité. Il ne supporte pas l'engorgement.

Les sélections effectuées par les agriculteurs et par les chercheurs ont privilégié quelques caractères : la résistance à l'égrenage sur pied (qui facilite la récolte), la nudité des graines (qui facilite le battage), la faible longueur de la tige (résistance à la verse et rapport grain/paille), la résistance aux maladies, et enfin l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Il existe près de 30 000 variétés de blé.

● La culture du blé

Dans les pays tropicaux, le blé ne peut pas être cultivé à basse altitude pendant la saison chaude. Il est généralement cultivé en altitude et pendant la saison froide et sèche. Il est alors irrigué (ou cultivé en décrue) et récolté en fin de saison sèche. Dans les pays subtropicaux comme le Pakistan, le blé est également une culture de saison froide et a également besoin d'être irrigué. La surface de blé irrigué correspond à plus de 45 % de la surface de blé produite par les pays en développement. La Chine et l'Inde sont les principaux pays concernés. Des quantités importantes de blé irrigué sont également produites en Turquie, en Afghanistan, en Iran, en Irak, en Egypte, au Soudan, en Ethiopie, au Zimbabwe, au Nigeria, au Mexique et au Chili.

Le blé irrigué est fréquemment conduit en succession après une culture de saison chaude, dans le cadre de systèmes à deux cultures par an. Cette culture de saison chaude peut être du riz, du soja, du coton, etc. Le calage du cycle de culture dans l'année fait intervenir plusieurs paramètres : la température¹, la volonté de récolter si possible avant les premières pluies et le calage de la culture de saison chaude, qui peut être prioritaire.

En culture irriguée, on préconise un labour suivi d'un hersage puis d'un planage de la parcelle. Il est également recommandé de mettre en place sur la parcelle un système de drains pour éviter que l'eau ne stagne ou n'engorge le sol. Au moment du labour, on enfouit 10 tonnes de fumier par hectare. Dans les sols acides, on peut également apporter des amendements calco-magnésiens pour rapprocher le pH de la neutralité.

Les doses de semis préconisées sont de l'ordre de 100 à 150 kg/ha de semences traitées et on recommande le semis en lignes espacées de 15 à 25 cm, à une profondeur de 3 à 5 cm. On conseille un apport de 300 à 500 kg d'engrais NPK (complété éventuellement par du bore) au moment du semis suivi par un apport de 50 à 100 kg d'urée, effectué vingt cinq à trente cinq jours après le semis, au moment du sarclage.

L'irrigation doit être menée prudemment pour éviter l'engorgement de la parcelle.

La lutte contre les maladies passe essentiellement par l'utilisation de variétés résistantes, notamment contre les rouilles noires et brunes. Néanmoins des traitements fongicides sont éventuellement possibles. Le traitement des semences (lindane) permet de limiter les dégâts des insectes terricoles. Les infestations de chenilles, de pucerons et de borers peuvent être contrôlées avec des traitements insecticides si le seuil de nuisibilité est dépassé : pour les chenilles de noctuelles par exemple, il correspond à une chenille pour dix épis.

La récolte a lieu lorsque la paille est jaune et que les grains craquent entre les dents. Le rendement en grains est extrêmement variable : environ 700 kg/ha au Rwanda et au Burundi, 1300 à 1400 kg/ha en Ethiopie et au Kenya, de l'ordre de 2 à 3 t/ha en Inde, au Tchad ou à Madagascar, de 3 à 4 t/ha en Chine et entre 6 et 7 t en Zambie, au Zimbabwe ou en Egypte.

¹ Dans les milieux tropicaux d'altitude, les températures hivernales peuvent être inférieures à 14°C, limite inférieure pour la floraison.

● **La production actuelle et les perspectives**

Début 2000, la production mondiale de blé est de l'ordre de 600 millions de tonnes. Le commerce mondial représente 100 millions de tonnes. La demande de blé mondiale augmente de 2 à 3 % par an, et la demande en Afrique sub-saharienne de l'ordre de 5 % par an.

L'Asie est le premier continent producteur, du point de vue des surfaces cultivées comme de la quantité produite. Le blé y est la seconde production et il y fournit 19,2 % des apports énergétiques. En Afrique, les principaux pays producteurs sont ceux qui bordent la Méditerranée, l'Éthiopie, l'Afrique du Sud et, dans une moindre mesure, le Kenya et le Soudan.

LE MAÏS

Zea mays

Anglais : maize (GB) ou corn (USA),

Espagnol : maiz

Portugais : milho

Famille des Poaceae, tribu des Andropogoneae

● **Les utilisations du maïs**

Les utilisations du maïs varient beaucoup selon le niveau économique des pays. Dans ceux à faible revenu, le maïs est surtout réservé à la consommation humaine directe, sous forme d'épis immatures, de farine ou de semoule. En revanche, dans les pays développés, il constitue une matière première pour l'alimentation du bétail, l'industrie de la semoule et celle de l'amidon. Cette dernière est en pleine expansion en Europe et aux États-Unis (près de 20 % des utilisations domestiques). Ses débouchés sont très diversifiés : produits alimentaires (isoglucose, pectines), chimiques (biocarburants, plastiques), pharmaceutiques, textiles, papetiers.

Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert pour l'alimentation humaine, pour la fabrication de margarines, de savons, de vernis, de textiles artificiels, etc.

Enfin, on peut cultiver le maïs comme fourrage vert ou pour faire de l'ensilage pour les bovins.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine et la diffusion**

Le maïs est la seule plante cultivée d'importance dont l'ancêtre sauvage ne soit pas connu avec certitude. Cultivé depuis des millénaires en Amérique centrale, il aurait été domestiqué dans la région centrale du Mexique à partir de téosinte local. La culture du maïs s'est ensuite propagée sur l'ensemble du continent américain, des Andes

au Canada, puis, à partir du XVI^e siècle, sur tous les continents, en zone tropicale comme en zone tempérée. Il serait arrivé en Afrique au XVII^e siècle.

Le genre *Zea* renferme des espèces annuelles et pérennes originaires du Mexique et d'Amérique centrale. Il comprend des formes sauvages, les téosintes, présentes au Mexique et au Guatemala, et une forme cultivée, le maïs. En effet, on distingue quatre espèces, dont l'une, *Zea mays*, est elle-même divisée en quatre sous-espèces. Parmi elles, la sous-espèce annuelle *Z. mays subsp. parviglumis* est considérée comme l'ancêtre le plus probable du maïs, *Z. mays subsp. mays*.

Le maïs est la céréale dont la zone de culture est la plus vaste. Elle s'étend sur 140 millions d'hectares de la latitude 40° Sud, en Argentine et en Afrique du Sud, à la latitude 58° Nord, au Canada. Dans les Andes, elle culmine à 4000 m d'altitude, alors que le maïs pousse au dessous du niveau de la mer près de la mer Caspienne.

● **Les caractéristiques morphologiques**

Le maïs est une céréale herbacée annuelle, à tallage généralement faible ou même nul. Il présente une large diversité morphologique selon les variétés.

La plante possède des racines séminales, fonctionnelles jusqu'au stade cinq ou six feuilles et des racines définitives ou coronaires. La tige, constituée de l'écorce et de la moelle, mesure de 0,6 à 6 m. C'est un empilement de nœuds et d'entre-nœuds. Au niveau de chaque nœud, on trouve une feuille (leur nombre varie de huit à quarante-huit) et un bourgeon axillaire. Les bourgeons de la base de la tige peuvent donner des talles, ceux du milieu un ou plusieurs épis et le bourgeon terminal la panicule.

Le maïs est donc une plante monoïque à inflorescences séparées. L'épi est une tige en miniature, avec des spathes et une inflorescence terminale (l'épi proprement dit) formée d'un axe central, la rafle, qui porte les grains. Le grain est un caryopse qui comprend le péricarpe, l'embryon et l'albumen riche en amidon.

● **Le mode de reproduction**

Le maïs est une plante monoïque et porte deux types d'inflorescence : les fleurs mâles, groupées sur la panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés à l'aisselle des feuilles. Bien que le maïs soit autofertile, l'allogamie est prépondérante (95 %). Elle résulte de la monoécie et de la protandrie de la plante. La forte allogamie du maïs a des conséquences importantes en sélection et pour la multiplication des semences.

● **La variabilité génétique**

Le maïs est l'espèce végétale dont la génétique est la mieux connue : un millier de locus contrôlant des caractères qualitatifs y ont été analysés, dont 575 sont rigoureusement déterminés et cartographiés. La carte génétique du maïs est quasiment saturée et révèle un fort polymorphisme. Le maïs est vraisemblablement un allotétraploïde avec $n = 2 \times 5$.

Les variétés tropicales sont très nombreuses. Elles sont conservées par le CIMMYT, dont la collection compte environ 15 000 accessions. À partir des 12 000 accessions provenant d'Amérique latine, 250 races ont été identifiées, sur des critères essentiellement morphologiques, et regroupées en quatorze complexes raciaux. Les races d'Amérique du Nord et des autres continents sont toutes issues des maïs d'Amérique latine, dont

elles se sont différenciées du fait de nouvelles combinaisons et des sélections réalisées. Les races nord-américaines sont bien décrites et sont regroupées en dix complexes raciaux. Pour les autres continents, ce travail reste à faire.

● **Les types variétaux**

En zone tropicale, le maïs est cultivé dans des conditions écologiques ou socio-économiques très diversifiées. Son utilisation alimentaire traditionnelle exige que le produit corresponde aux préparations culinaires et aux goûts des différents consommateurs. Pour répondre à cette diversité de situation, il est nécessaire de disposer d'une gamme de variétés. Celles-ci doivent être adaptées aux différents niveaux d'intensification pratiqués : culture extensive destinée à l'autoconsommation, culture intensive commerciale, culture semi-intensive. Elles doivent être capables de produire dans des milieux très variables. Elles doivent, enfin, être appréciées des utilisateurs : le type et la couleur du grain, les qualités de mouture et de conservation sont des critères essentiels.

Les écotypes

Le maïs a été soumis à une sélection massale dès le début de sa domestication. Les agriculteurs choisissaient à chaque saison les plus beaux épis pour ensemercer leur champ à la saison suivante. Cette pratique est encore aujourd'hui courante en zone tropicale. Les écotypes en sont issus. Ils sont largement utilisés en agriculture traditionnelle extensive.

Les hybrides

Les hybrides sont réservés à la culture intensive avec intrants, où ils peuvent le mieux exprimer leurs potentialités. Les pays développés et la Chine cultivent aujourd'hui uniquement des hybrides. Le Brésil et les pays d'Asie du Sud-Est et d'Afrique de l'Est y ont largement recours. Leur emploi reste rare en Afrique francophone.

Les variétés améliorées à fécondation libre

Entre la sélection massale et la création directe d'hybrides, la sélection récurrente permet de rassembler une variabilité génétique importante et de sélectionner progressivement pour améliorer de nombreux caractères, tout en conservant une bonne part de cette variabilité. Dans les pays tropicaux, elle est actuellement largement employée sous l'impulsion du CIMMYT. Elle permet de créer des variétés améliorées à pollinisation libre, alliant des potentialités de rendement élevé, des qualités agronomiques et la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques, particulièrement importantes en zone tropicale.

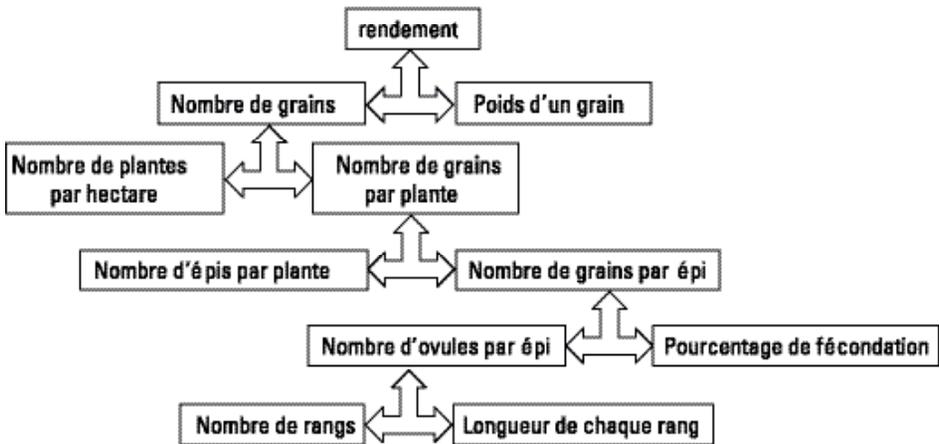
Ces trois types variétaux seront encore longtemps utilisés en milieu tropical, même si on observe une progression des variétés améliorées et des hybrides au détriment des écotypes.

● **L'écologie du maïs**

● **Les mécanismes de régulation du rendement**

Un grain de maïs possède un potentiel génétique de production, qui sera atteint si aucune contrainte ne vient limiter son expression. Tout l'art du cultivateur consiste à permettre l'expression de cette potentialité. Mais comme le milieu idéal n'existe pas, il y a tout au long du cycle une adaptation aux conditions réelles de production.

Le rendement final résulte (cf. figure 1) de la multiplication du nombre de grains par le poids moyen du grain. Le nombre de grains par unité de surface est lui-même fonction de la densité, de la prolificité (nombre moyen d'épis/plante) et du nombre de grains réels/épi (lui-même lié au nombre d'ovules/épi et à la réussite de la fécondation). Le poids de mille grains maximum est fixé génétiquement, mais il peut ne pas être atteint si le milieu est défavorable.



► Figure 1 : Schéma d'élaboration du maïs

Chez le maïs, les différentes phases du développement de la plante, correspondant aux différentes composantes qui conditionnent le rendement final, se succèdent au long de la vie de la plante. Chacune d'entre elles peut, sous l'effet d'un stress, contribuer à diminuer le rendement potentiel. Le rendement réel est donc le résultat d'une série de soustractions à partir du rendement potentiel.

- > *Le nombre de plantes/ha résulte du choix d'une densité par l'agriculteur et de la réussite du semis et de la levée.* La qualité de la semence, les conditions du semis, la présence éventuelle d'insectes attaquant les plantules, la pratique d'un nouveau semis ou d'un démariage sont autant de facteurs qui interviennent dans l'élaboration de la densité à la récolte.
- > *Pendant la phase végétative les racines, la tige et les feuilles subissent éventuellement le contre-coup de conditions défavorables.* Par exemple, une attaque virale précoce peut fortement réduire la surface foliaire utile. Le succès de la mise en place de l'appareil végétatif conditionne largement le rendement final.
- > *Un stress pendant la formation des épis réduit le nombre de rangs, puis la longueur de l'épi.* Quant au nombre d'épis/plante, il n'est fixé que quelques jours avant la sortie des soies. La prolificité en épis est recherchée en milieu tropical car elle permet une régulation du rendement et peut, notamment, compenser une faible densité.
- > *Un stress à la floraison va, en allongeant l'intervalle floraison mâle/floraison femelle, diminuer le pourcentage de fécondation et favoriser l'avortement des ovules, puis des graines.*
- > *Enfin, si la plante souffre pendant le remplissage des grains, c'est le poids de mille grains qui est diminué.*

Un stress aura donc des conséquences négatives sur le rendement quelle que soit la période où il se produit. Mais les phases au cours desquelles il a les conséquences les plus graves sont d'une part le semis et les deux semaines qui le suivent, d'autre part les deux semaines qui précèdent et les deux semaines qui suivent la floraison.

● **Les besoins de la plante et les stress**

Le maïs est une plante exigeante :

- > *en lumière*, du fait de son métabolisme photosynthétique en C4. Il a des exigences en température assez élevées à la germination : optimum de 25°C, impossible en dessous de 10°C ;
- > *en eau*. Un maïs de 120 jours en climat soudanien demande au moins 600 mm de pluies bien réparties ;
- > *en fertilité*. Très sensible aux carences et répondant bien aux apports d'engrais et notamment d'azote, il affectionne les sols riches en matière organique et dotés de bonnes propriétés physiques.

De nombreux stress peuvent réduire le rendement. Ils peuvent être liés à plusieurs facteurs.

Le climat

- > *la sécheresse* est particulièrement dommageable au moment du semis mais sa plus forte influence négative sur le rendement se situe au moment de la floraison. On sème donc sur un sol bien humide², et on cale le cycle de la culture de façon à réduire le risque de sécheresse à la floraison ;
- > *l'excès d'eau* peut provoquer l'asphyxie ou même la pourriture des racines. On évite les sols hydromorphes ou drainant mal ;
- > *l'énergie lumineuse* disponible pendant la culture est limitée en région fortement nuageuse (zone équatoriale). Il n'y a aucune parade ;
- > *le vent* peut provoquer la verse ou la casse. La résistance variétale est la meilleure défense ;
- > *les fortes températures* peuvent, surtout si elles sont associées à un climat sec ou venteux (saison sèche chaude du Sahel), provoquer des brûlures sur les feuilles.

Le sol

Les sols acides ou salés limitent fortement le rendement. Il n'existe actuellement guère de variétés tolérantes. On évite donc les sols salés. Quant aux sols acides, un chaulage peut être proposé, mais il n'est pas forcément rentable.

Les facteurs biologiques

Les maladies les plus fréquentes en milieu tropical sont les rouilles³ et les helminthosporioses⁴ qui causent des lésions semblables à des brûlures. La plupart des variétés améliorées tropicales sont tolérantes à ces maladies.

2 25 mm de pluies la veille ou l'avant-veille.

3 *Puccinia polysora* en basse altitude, qui produit de petites taches rondes orangées, et *P. sorghi*, plus fréquente en altitude, qui produit des lésions allongées brunes.

4 *Helminthosporium maydis* en basse altitude et *H. turcicum* en altitude ou en saison fraîche.

Il existe bien d'autres maladies, moins largement répandues mais qui peuvent, localement, être très sérieuses. La lutte chimique étant rarement rentable, la seule solution est la tolérance variétale. Certaines pourritures des épis, produites par des champignons comme *Aspergillus niger* ou *Fusarium monoliforme*, s'accompagnent de la production de mycotoxines. Un séchage rapide de la récolte est nécessaire. Les viroses peuvent, en cas d'attaque précoce, détruire complètement une culture. La plus fréquente en Afrique est la striure causée par le *Maize Streak Virus*. La résistance variétale est la meilleure parade, même si certains produits de traitement de semences sont efficaces, mais fort coûteux.

Différents insectes peuvent causer des dégâts plus ou moins graves. Les foreurs des tiges ou des épis (*Eldana sacharina*, *Sesamia calamistis*, *Busseola fusca*), les défoliateurs (*Spodoptera frugiperda*) et les insectes des grains (*Sitophilus zeamais* et *Prostephanus truncatus*) sont ceux qui causent les plus gros dégâts. Peu de variétés présentent une tolérance à l'un ou l'autre de ces insectes. La lutte chimique, si elle est rentable, peut sauver une culture ou une récolte.

Les adventices, qui concurrencent le maïs pour l'eau et les nutriments, constituent une menace sérieuse. En culture traditionnelle, ce sont elles, davantage que la baisse de la fertilité, qui sont responsables de l'abandon des terres après trois à quatre ans de culture car leur maîtrise demande trop de travail.

● **La culture du maïs**

● **Les grands systèmes de culture**

Les conditions de culture du maïs dans le monde sont très variées, de la culture traditionnelle de plein champ, souvent associée à d'autres plantes, à la culture intensive motorisée d'Europe ou des Etats-Unis, en passant par la culture de case ou la culture de plein champ en rotation avec le coton, toutes deux relativement intensives. Les rendements moyens varient d'environ 5 q/ha en culture extensive à 120 q/ha en culture intensive motorisée.

Le type de variété utilisé doit être raisonné en fonction du rendement visé par le paysan :

- > en agriculture traditionnelle extensive, pour des rendements qui dépassent rarement 20 q/ha, les variétés locales constituent la meilleure réponse. C'est aussi le cas pour les champs de case, la famille ayant des exigences précises en terme de qualité du grain pour une préparation culinaire donnée ;
- > les variétés améliorées à pollinisation libre conviennent bien pour des systèmes à intensification moyenne, du type de ceux qui sont pratiqués en zone cotonnière africaine, où les rendements espérés varient de 20 à 50 q/ha ;
- > on réserve les hybrides aux cultures intensives avec intrants, où ils peuvent exprimer leurs potentialités. On utilise alors des hybrides spécifiquement créés pour la zone tropicale. La médiocre adaptation des hybrides tempérés au climat chaud des tropiques et leur sensibilité aux maladies spécifiques à ces milieux ne permet en effet pas, sauf rares exceptions, de les recommander.

● **L'élaboration du rendement et les itinéraires techniques**

La durée du cycle végétatif varie sous les tropiques de 90 à 130 jours, parfois plus dans les zones d'altitude. Schématiquement, la culture pure du maïs avec une certaine intensification se déroule de la façon suivante.

● **La mise en place**

Le maïs est très sensible à l'amélioration des propriétés physiques du sol : l'augmentation de rendement grâce au labour est généralement élevée et atteint couramment 20 %. Suivant les régions, la culture est réalisée à plat (cas le plus fréquent), sur billons ou sur buttes.

Il existe cependant une alternative au labour : le semis direct dans une couverture végétale. Son principe est simple : une couverture permanente du sol est assurée par une plante bien choisie qui est soit détruite, soit maîtrisée par une faible dose d'herbicide avant le semis direct de la culture. Ses avantages sont nombreux : limitation ou même suppression du ruissellement donc de l'érosion, meilleure alimentation hydrique de la culture, amélioration de la fertilité par remontée des cations et par augmentation du stock d'azote grâce à la plante de couverture, maîtrise naturelle des adventices. Dans certaines rotations annuelles bien choisies, le travail du sol est totalement supprimé, comme l'est l'apport de fertilisation chimique. Sa mise en œuvre reste toutefois plus délicate qu'une simple fertilisation minérale.

Il est recommandé de semer tôt au début des pluies, à une profondeur de 3 à 5 cm, et de traiter préalablement les semences avec un mélange de fongicide et d'insecticide. Tout retard de semis entraîne une baisse de rendement. La densité de peuplement optimale est généralement comprise entre 40 et 60 000 plants/ha en culture pure.

Le poids des semences est de l'ordre de 15 à 25 kg/ha pour 45 à 50 000 plants à l'hectare. En cas de semis manuel, on sème trois à quatre graines tous les 50 cm et on démarie à deux plantules. Avec un semoir mécanique, on sème un grain tous les 20 à 25 cm (pour 80 cm entre lignes). La valeur optimale de la densité doit être raisonnée en fonction de la variété utilisée, des conditions d'alimentation hydrique et de la fertilité du sol.

● **La fertilisation**

Le maïs exige pour sa croissance et sa production, des éléments minéraux qu'il puise dans le sol. La fertilisation raisonnée consiste à lui apporter les quantités d'éléments dont il a besoin, au bon moment et en quantité suffisante. Cette fumure dépend des rendements espérés et du système de culture. Elle doit être rentable, c'est-à-dire permettre un accroissement de la récolte qui compense largement les frais occasionnés par l'achat et l'épandage des engrais.

Tableau1. Quantités d'éléments minéraux exprimés en unités accumulées par 1 ha de maïs produisant 50 quintaux de grains

	Azote (N)	Acide phosphorique (P ₂ O ₅)	Potasse (K ₂ O)	Chaux (CaO)	Magnésie (MgO)	Soufre (S)
Dans les plantes entières (parties aériennes)	105	50	75	10	10	6
Uniquement dans les 50 quintaux de grains	70	35	25	1,5	4,5	5

Les prélèvements (ou exportations) sont différents suivant que les pailles de maïs sont sorties du champ ou au contraire réincorporées au sol. Il faut ajouter à ces six éléments principaux des quantités plus faibles (de l'ordre de quelques centaines de grammes par hectare) de manganèse, zinc, bore, cuivre, etc.

Les besoins de la plante ne sont pas constants tout au long de la culture : faibles au début, ils croissent rapidement pour atteindre un maximum avant la floraison et décroître ensuite, sauf pour le phosphore dont l'absorption est relativement étalée dans le temps. Il faut souligner l'exigence particulière en azote juste avant la floraison pour permettre une formation normale de l'épi.

En culture manuelle peu intensive, l'apport minimum est de vingt cinq à trente unités d'azote par hectare, quand le maïs a commencé sa montaison (environ quarante jours après le semis). Un apport d'engrais complet au semis (par exemple 30-30-30) est utile, mais rarement pratiqué.

En Côte d'Ivoire et au Gabon

Pour un rendement visé de 30 q/ha, on recommande, en Côte d'Ivoire, un apport de 30-54-54 (soit 300kg/ha de 10-18-18) au semis et 45 unités d'azote à la montaison. Et pour 50 q/ha, au Gabon, on recommande 120-70-60 au total, avec fractionnement de l'apport d'azote.

La teneur en matière organique du sol est une des clés de la culture du maïs. Les apports de fumier sont recommandés car le maïs réagit très positivement à la fumure organique, même à faible dose. Cet effet est particulièrement net dans les sols épuisés. Dans tous les cas, la restitution des résidus de récolte, transformés (fumier) ou simplement broyés et enfouis, est recommandée pour enrichir le sol en matière organique et limiter les exportations.

● L'entretien

L'enherbement exerce une concurrence très forte sur la culture du maïs, notamment entre quinze et quarante cinq jours après le semis.

Le sarclage manuel (on en effectue généralement trois) est actuellement la technique de lutte la plus pratiquée en zone tropicale. Le sarclage mécanique tend à se développer en culture attelée, mais aussi en culture motorisée : il permet des interventions rapides et moins pénibles qu'en travail manuel.

Pour être réellement efficaces, les sarclages doivent être effectués précocement sur des mauvaises herbes jeunes, le premier intervenant peu après la levée.

Un buttage léger des plants peut être recommandé. Il remplace le dernier sarclage et sert également à enfouir le second apport d'azote.

Depuis une vingtaine d'années, les herbicides ont été vulgarisés en zone tropicale sur maïs. La plupart sont à base d'atrazine, dont la dose ne doit pas dépasser 1 000 g/ha. Afin d'élargir son spectre d'efficacité, l'atrazine est associée en pré-levée de la culture et des mauvaises herbes à d'autres matières actives, telles que l'acétochlore, l'aclofen, l'alachlore, l'isoxaflutole, le métolachlore, la pendiméthaline (intéressante sur *Rottboellia cochinchinensis*), etc.

Des produits comme le 2,4-D, le nicosulfuron, le prosulfuron, le rimsulfuron ou la sulcotrione sont également employés en post-levée de la culture et des mauvaises herbes. L'entretien de la culture de maïs peut être effectué, en cours de culture, par des traitements dirigés avec des produits totaux comme le paraquat.

● La défense des cultures

Les maïs actuellement cultivés en milieu tropical sont pour la plupart issus de populations bien adaptées aux conditions locales. Ils sont assez résistants aux maladies. Les dégâts causés par les insectes au champ sont également restreints. La lutte chimique contre les maladies n'est quasiment jamais justifiée. La lutte chimique contre les foreurs n'est souvent pas rentable. En cas de fortes attaques sur des maïs hautement productifs, on peut cependant envisager l'épandage, avec des gants, d'insecticides granulés (fénitrothion, carbofuran, pyréthrinoides de synthèse ou endosulfan) disposés dans les cornets foliaires, au cours de la période de croissance de la tige. La lutte biologique est encore rarement maîtrisée.

● Les temps de travaux

Les temps des travaux par hectare de culture pure varient beaucoup en fonction du système de culture. Par exemple, un labour manuel à la daba demande plus de 200 h de travail, alors qu'il ne faudra que 20 à 30 h en culture attelée bovine et 6 h avec un minitracteur et une charrue bisoc.

Tableau 2. Temps de travaux relevés par la CMDT au Mali pour un ha en culture attelée bovine

Préparation du sol (labour + hersage)	30 h
Semis	6 h
Epandage d'engrais	4 h
Sarclage (un seul)	20 h
Buttage	18 h

La récolte, presque toujours manuelle, demande, en fonction de la densité, de 15 à 25 j/ha.

● **La récolte, la post-récolte et la qualité des produits⁵**

Un grain de qualité doit être sec et exempt de moisissures et d'insectes. Les conditions de séchage et de stockage sont primordiales pour y parvenir.

● **La récolte**

Le maïs peut être récolté en épis frais pour une consommation très rapide, ou à maturité pour être consommé en grains.

Les grains ne sont jamais récoltés secs, car la rafle, plus humide que le grain, empêche son humidité de descendre jusqu'à 12 %, taux nécessaire à une bonne conservation. Une récolte retardée permet un pré-séchage, mais ne peut se faire qu'en climat sec. Sinon, les spathes s'ouvrant à maturité, les pluies mouillent le grain, provoquant moisissures et germination. Une technique maya, le doublage, permet de retarder la récolte. Elle consiste à casser la tige, ce qui oriente l'épi vers le sol.

On peut récolter soit les épis, soit les grains. La récolte en épis est presque toujours manuelle en Afrique, mais elle peut être mécanisée. La récolte en grain se fait mécaniquement à l'aide de corn-shellers.

● **Le séchage**

Le grain doit très généralement être séché. Un séchage rapide est un gage de qualité, il empêche le développement de moisissures et parfois de mycotoxines.

Les techniques traditionnelles associent souvent séchage et stockage. Elles sont souvent efficaces, mais peu adaptées à une production importante. Les épis sont séchés au soleil, si possible démunis de leurs spathes dans les zones où la récolte se fait en saison sèche. Lorsque la récolte est réalisée au cours d'une période pluvieuse, l'utilisation de séchoirs est recommandée. Le *crib* peut être employé.

● **L'égrenage**

Il peut être réalisé immédiatement après la récolte si le maïs est déjà sec (l'humidité optimale du grain est de 13 %), après le séchage ou au fur et à mesure des besoins. Il reste le plus souvent manuel, avec ou sans l'aide de petites égreneuses, mais peut être mécanisé grâce à des égreneuses de capacité moyenne (200-300 kg/ha).

● **Le stockage et la protection des stocks**

Après égrenage, le grain sec est conservé en vrac, en sacs ou en silos, ou mieux, en greniers ou récipients (fûts vides) fermés hermétiquement.

Divers insectes attaquent les grains de maïs en cours de stockage, principalement des papillons et des charançons. L'infestation commence souvent au champ avant la récolte. En cas d'infestation grave, 90 % des grains peuvent être détruits au bout de six mois, en particulier dans le cas de grains farineux. L'emploi d'insecticide peut être justifié dès que l'on envisage de conserver du maïs pour une durée supérieure à trois mois.

⁵ Cf. chapitre 437.

La spathe intacte constitue une barrière efficace. La protection de greniers traditionnels a été réalisée au Togo par poudrage au lindane des épis non déspathés (traitement en sandwich et traitement extérieur toutes les trois semaines).

Une protection contre les insectes peut se faire également en trempant les épis déspathés dans une solution aqueuse à base de malathion.

La conservation du maïs en grain peut être réalisée de façon satisfaisante par l'agriculteur à l'aide de pyrimiphos-méthyl ou de delthaméthrine.

Pour la protection des semences il est nécessaire d'employer des produits associant un insecticide et un fongicide. L'utilisation de produits insecticides systémiques tels que le carborufan ou le carbosulfan permet une protection de la plantule après germination ; toutefois ces produits sont onéreux, et, pour certains, toxiques.

● La mouture

Le grain destiné à la consommation humaine est réduit en semoule ou en farine soit au pilon, soit avec un moulin. L'aptitude du grain à la transformation soit en farine, soit en semoule est une caractéristique variétale.

Pour une conservation sans rancissement de la farine, le germe (riche en huile) doit être retiré. La mécanisation de cette opération au niveau artisanal est maintenant possible.

● La qualité du grain

À côté des maïs *normaux* qui représentent la quasi totalité des grains produits, il existe des grains avec des caractéristiques particulières :

- > *les maïs sucrés* ou *sweet corn*, destinés à la consommation en épis frais, se conservent jusqu'à une semaine après la récolte ;
- > *les maïs pop*, dont le grain éclate à la cuisson, connaissent un développement limité mais rapide dans plusieurs pays africains.

L'ITA propose quelques variétés ayant ces caractéristiques.

Les maïs riches en protéines (QPM) du CIMMYT ont un équilibre protéique amélioré, qui augmente significativement leur valeur nutritive. Mais le gène qui leur confère ce caractère étant récessif, ces maïs doivent être cultivés isolés de tout maïs *normal* sous peine de perdre leur qualité. C'est pourquoi leur usage est peu répandu, malgré leur intérêt.

● La multiplication des semences

La production semencière, dont les modalités varient en fonction de la formule variétale (variété à pollinisation libre ou hybride), utilise certaines techniques et respecte certaines règles.

● Les contraintes de la production semencière

Le maïs est une plante allogame dont le pollen peut être transporté par le vent sur d'assez grandes distances. Pour conserver la pureté variétale, il est impératif d'éviter tout apport de pollen étranger par isolement dans l'espace ou dans le temps : pour

deux variétés de même précocité, un décalage des semis d'un mois est généralement suffisant.

● Les étapes techniques de la multiplication

La multiplication des semences se déroule en trois étapes :

- > la production du matériel de départ relève d'organismes de recherche ;
- > la production des semences de base est réalisée à partir du matériel de départ. Les semences de base sont produites en parcelle isolée. Les plantes hors type ou malades doivent être éliminées avant la floraison. Une seconde élimination peut intervenir à la récolte. C'est à ce stade que sont produits les hybrides simples, parents des hybrides doubles ou trois voies ;
- > la production des semences commerciales est la dernière multiplication avant la culture par le paysan. Elle est également réalisée en parcelle isolée et soigneusement épurée. C'est l'étape de fabrication des semences hybrides destinées à la vente.

● Les quantités et les superficies

Pour déterminer les quantités de semences à produire aux différentes étapes, on part des besoins finaux, soit 20 kg/ha pour des densités de l'ordre de 50 000 plantes/ha. Ainsi, pour ensemençer 200 000 ha avec une variété à pollinisation libre, il faut 4 000 tonnes de semences commerciales. Celles-ci sont produites sur 1 500 ha qui nécessitent 30 tonnes de semences de base. Ces semences de base demandent 15 ha, soit 300kg de semences de départ. Compte tenu de la sévérité accrue de l'épuration et des semences nécessaires pour la génération suivante, le sélectionneur sème donc environ 0,5 ha. Ce chiffre doit être modulé pour la fabrication d'hybrides, en fonction du ratio parent femelle/parent mâle et du rendement des lignées, en général nettement plus faible.

Pour 200 000 ha à semer, entre la production du matériel de départ et la mise à disposition des semences commerciales, il n'y a que trois générations, soit trois ans. La production des semences d'une variété à pollinisation libre est donc très rapide. Si la production semencière est effectuée par des paysans, les mêmes normes sont respectées.

● La production actuelle et ses perspectives

● Les évolutions des zones de production

Le maïs est, avec le blé et le riz, l'une des cultures les plus importantes pour l'alimentation directe ou indirecte de l'homme. Sa production mondiale approche 600 millions de tonnes par an. Avec plus de 40 % de cette production, les États-Unis se placent au premier rang des pays producteurs. Depuis les années 90, la production des pays industrialisés tend à stagner alors que les pays en développement, et en particulier ceux d'Asie, enregistrent une progression rapide de leur production.

La Chine représente actuellement 20 % de la production mondiale. L'Indonésie et les Philippines connaissent une croissance annuelle de leur production supérieure à 4 %. En Amérique latine (10 à 15 % de la production mondiale) et en Afrique subsaharienne (5 à 7 % de la production mondiale), la tendance est également à la croissance.

Sur l'ensemble des pays en développement, l'augmentation de la production est due essentiellement à l'extension des surfaces cultivées, les gains de rendement restant très modestes.

Les échanges internationaux de maïs se situent entre 60 et 70 millions de tonnes. Après le retrait du marché de l'Union Européenne, devenue autosuffisante, et des pays de l'ex-URSS, confrontés à une pénurie de devises, ce sont désormais les pays asiatiques industrialisés (Japon, Corée, Taïwan) ou en voie de l'être (Malaisie, Indonésie) qui animent la demande par leurs besoins accrus d'aliments pour le bétail. Les Etats-Unis assurent 60 à 75 % des exportations mondiales, suivis par l'Argentine.

Les organismes de recherche

Voilà longtemps que le maïs fait l'objet d'une sélection active. Dans les pays tempérés l'amélioration variétale, qui vise la création d'hybrides, est menée par des établissements publics et par de très nombreuses sociétés privées. Pioneer, Sandoz Seeds et Limagrain dominent le marché mondial des semences de maïs. Les deux premières interviennent également en milieu tropical, à côté de sociétés le plus souvent nationales au Brésil, en Afrique du Sud et dans les pays d'Afrique de l'Est.

À l'échelle internationale, le CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo), dont la vocation est mondiale, et l'ITA (International Institute of Tropical Agriculture) en Afrique de l'Ouest, conduisent d'importants travaux de création variétale, offrant à la fois des variétés à pollinisation libre et des hybrides.

Dans les pays tropicaux, les organismes de recherche agronomique se fixent le plus souvent des objectifs nationaux ou régionaux, dans le cadre de réseaux. Deux organismes français poursuivent des recherches sur les maïs tropicaux : l'IRD et le CIRAD.

● **Les questions à la recherche**

En terme de variétés, la gamme existante est extrêmement large. Les variétés améliorées possèdent toutes un potentiel de rendement élevé, de bonnes qualités agronomiques et une tolérance suffisante aux principales maladies. Des résistances aux viroses existent. En revanche, les tolérances aux insectes, à la sécheresse ou à l'acidité du sol nécessitent encore des recherches pour être réellement utilisables.

Les techniques classiques de culture (travail du sol, fertilisants chimiques) sont au point. Le semis direct sous couverture demande en revanche à être adapté à de plus nombreuses situations agro-écologiques.

Des recherches sont nécessaires sur la transformation des grains, à la fois pour permettre la diversification de l'alimentation des urbains (mécanisation des préparations traditionnelles, nouveaux produits) et pour améliorer la qualité sanitaire des aliments.

LE MIL

Pennisetum glaucum

Anglais : pearl millet (UK)

Espagnol : panizo nigro

Famille des Poaceae (ex graminées), tribu des Paniceae

● Les utilisations du mil

Le mil à chandelle ou mil pénicillaire reste une culture alimentaire très importante dans les régions semi-arides de l'Afrique et de l'Inde. Il existe une multitude de produits à base de mil sur les marchés qui sont généralement plus appréciés que ceux à base de sorgho. Les grains de cette céréale sont aussi utilisés pour l'alimentation animale. Après la récolte, les tiges de mil sont utilisées pour fabriquer des cases, des greniers et des concessions ainsi qu'en alimentation animale. La valeur énergétique du mil est de 780 calories/kg, l'une des plus élevées parmi les céréales.

● La plante et son environnement

● La plante

● L'origine et la diversification

Le genre *Pennisetum* comprend plus de 140 espèces. Le mil pénicillaire aurait été domestiqué au sud du Sahara où existent les centres primaires de diversité renfermant des espèces cultivées et des espèces sauvages fertiles. Cette culture s'est par la suite répandue à travers les zones tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie. De nos jours, une très large diversité de durées de cycle et de caractères morphologiques se rencontre en Afrique de l'Ouest et centrale.

● Les aires de culture

Près de quinze millions d'hectares, soit un tiers des superficies en mil dans le monde, se situent en Afrique. 70 % de ces superficies se trouvent en Afrique de l'Ouest, dans des zones où la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 200 et 800 mm. En Inde, le mil occupe la quatrième place après le riz, le blé et le sorgho. Il est cultivé dans des régions où la pluviométrie annuelle varie entre 150 et 750 mm.

● Les caractéristiques morphologiques

La hauteur de la plante varie entre 1 et 3 m. Dans les zones humides, les plantes peuvent même atteindre 4 m de hauteur. Le système racinaire est concentré dans les trente premiers centimètres du sol, mais certaines racines peuvent descendre jusqu'à trois mètres de profondeur. Les feuilles ont une longueur variant de 20 à 100 cm pour une largeur variant entre 5 et 50 mm. La longueur de l'épi (ou chandelle) varie de 10 cm à plus de 100 cm.

● **Les modes de reproduction**

À l'intérieur d'une même fleur les organes femelles arrivent à maturité avant le pollen. Ce décalage favorise la fécondation croisée. Le mil est une espèce allogame (> 70 %) pour laquelle la pollinisation est essentiellement anémophile et occasionnellement entomophile. Ce mode de reproduction permet une utilisation aisée de l'hétérosis. Les semences des variétés et composites peuvent facilement être produites à travers un mécanisme impliquant les paysans. Des cultivars hybrides très performants sont en voie de développement, et sont testés en étroite collaboration avec les producteurs et les ONG, dans plusieurs pays en Afrique de l'Ouest et du Centre.

● **La variabilité génétique et les groupes de cultivars**

La fréquence élevée de croisements spontanés entre espèces cultivées et espèces sauvages explique la forte variabilité observée au niveau des populations ou variétés de mil. Outre la sélection naturelle, la sélection par l'homme a permis une augmentation significative de cette variabilité.

Les mils cultivés en Afrique sont classés en mils hâtifs ou précoces (75 à 100 jours) et mils tardifs (110 à 150 jours) :

- > *les mils hâtifs* (*guero* au Niger et Nigeria et *souna* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans les zones à faible pluviométrie ;
- > *les mils tardifs* (*maiwa* ou *somno* au Niger et Nigeria et *sanio* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans les régions les plus humides.

Des essais régionaux et des démonstrations en milieu paysans ont permis d'identifier des cultivars de mil très performants dans les différentes zones de production : zone sahélienne, zone soudanienne et zone nord-guinéenne.

● **L'écologie du mil**

Les pénicillaires sont des graminées de zones semi-arides chaudes avec des températures moyennes de 28°C pendant la saison de culture. Les mils sont généralement cultivés dans des zones ayant une pluviométrie variant entre 200 et 800 mm, répartis sur trois à six mois correspondant à la longueur de la saison des cultures. Le mil, moins exigeant que le sorgho, est généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec un pH faible. Il tolère la sécheresse, un faible niveau de fertilité des sols et des températures élevées.

● **La culture du mil**

● **Les grands systèmes de culture**

Le mil est généralement cultivé en association avec d'autres céréales comme le sorgho et le maïs ou avec des légumineuses comme l'arachide et le niébé. Au Sahel, l'association mil-niébé est prédominante. Le niébé est semé deux à trois semaines après le mil. Avec des graines très petites, le mil exige une bonne préparation du lit de semences.

● Le choix de la variété

Les principaux critères de choix d'une variété sont :

- > les paramètres climatiques, notamment la pluviosité ;
- > les objectifs de la production : sécurité alimentaire ou rendement élevé ;
- > l'importance locale des dégâts provoqués par les maladies, le *striga*, les insectes et les autres ravageurs ;
- > l'importance des animaux dans les exploitations, qui peut justifier une production importante de paille au détriment de la production de grains.

● L'élaboration du rendement et les itinéraires techniques

● La mise en place de la culture

La préparation du sol

Le scarifiage et le labour du sol permettent un meilleur développement de la plante, augmentant ainsi le rendement. Le mil est cultivé sur des sols légers contenant plus de 65 % de sable, donc faciles à travailler.

L'utilisation de la traction animale et des engrais n'est pas encore très développée en Afrique. L'adoption d'hybrides plus productifs nécessite l'utilisation de techniques performantes permettant le maintien de la fertilité des sols.

Le semis

Il peut être réalisé à sec ou après une pluie de 20 mm ou plus. Le mil est habituellement semé en poquets, dont l'espacement varie entre 45 cm x 45 cm et 100 cm x 100 cm en champ paysan, en fonction du système de culture et de la nature du sol. Le nombre de grains par poquet varie de quarante à plus de cent.

Très souvent les semences sont traitées au thioral (80 % de thirame et 20 % de lindane) à raison de 50 g pour 10 kg de semence. L'Apron plus 50 DS est aussi utilisé pour le traitement des semences (10-15 g par kg de semences) pour réduire l'incidence du mildiou. En raison des sécheresses, des vents de sables et des températures élevées en début de saison des cultures, les seconds semis sont fréquents.

Le semis en ligne facilite l'exécution des sarclages en culture attelée. Généralement, les petits producteurs sèment dès les premières pluies sur un sol non préparé.

● L'entretien de la culture

Deux à trois désherbages sont réalisés à la main ou en traction animale. Le démariage à trois plants par poquet est fait au moment du premier sarclage, dix à quinze jours après le semis. Un buttage est effectué généralement trente jours après le semis. C'est une technique éprouvée qui peut augmenter le rendement de 350 à 450 kg/ha en année de faible pluviosité. En bonne année, le gain est de l'ordre de 100 kg/ha.

● La fumure

Le mil répond bien à la fumure organique et à la fumure minérale. Les doses annuelles proposées par la recherche au Niger sont :

- > 18 P₂O₅/ha (100 kg de phosphate super simple ou 50 kg de phosphate super triple) à la préparation du terrain ;
- > 46 N/ha (100 kg d'urée) en deux apports (au démariage et à la montaison) ;
- > 5t/ha de fumure organique sous forme de fumier de parc ou de compost.

La rotation mil/légumineuse est intéressante : elle permet, par rapport à la monoculture, un gain de 200 à 350 kg/ha de grains. L'utilisation de la fumure (organique et minérale) et des billons augmente les rendements en grain et en paille. Le tableau 3 illustre cet effet par des tests menés au Mali.

Tableau 3. Effet de la fumure organique, minérale et des billons sur le rendement en grains et en paille de deux variétés améliorées de mil

	Rendement des variétés (t/ha)			
	ICMV IS 92222		ICMV IS 89305	
	Grain	Paille	Grain	Paille
1. Pratiques traditionnelles	0.27	1.24	0.30	1.56
2. Fumure minérale (F)	0.93	3.58	1.40	4.45
3. Fumure + fumure organique (M)	1.66	5.05	1.48	4.50
F + M + Billons	2.10	6.17	2.15	4.74

● La défense des cultures

Les maladies cryptogamiques

Le mildiou ou lèpre du mil ou encore maladie de l'épi vert, provoqué par Sclerospora graminicola, est présent dans toutes les zones millicoles. Cette maladie est surtout prépondérante dans les zones très humides. Les symptômes précoces (entre la levée et l'épiaison) sont le nanisme des plants atteints et des stries blanchâtres sur les feuilles qui se dessèchent et se dilacèrent. Les symptômes tardifs sont la dégénérescence des pièces florales, qui prennent l'aspect de feuilles avec production d'épis difformes. Des variétés résistantes et tolérantes ont été identifiées pour les zones de culture. Les sources de résistance identifiées feront l'objet de transfert en faveur des meilleures variétés locales. L'utilisation d'Apron plus 50 DS, fongicide systémique, a permis de réduire la maladie et constitue une technique facile à adopter pour améliorer la productivité du mil.

Le charbon du grain est provoqué par Tolyposporium penicillariae. Le moyen de lutte le plus efficace reste l'utilisation de cultivars résistants. Des techniques de criblage existent.

L'ergot ou maladie sucrée : pathogène, Claviceps fusiformis, attaque les épillets et provoque la formation d'un exsudat sucré sur les fleurs. L'utilisation de lignées résistantes à l'ergot dans le développement d'hybrides et de nouvelles variétés est prometteuse.

Les insectes

Comparé aux autres céréales, le mil est attaqué par un nombre limité d'insectes. Ils peuvent cependant revêtir une grande importance dans certaines régions de production en Afrique de l'Ouest.

Les foreurs de tige (*Coniesta ignefusalis*), la mineuse de l'épi (*Heliocheilus albipunctella*), les cantharides (*Psalydolytta spp.*) et les cecidomyliques sont parfois importants dans les cultures du mil en Afrique :

- > les cecidomyliques (*Geromyia penniseti*) pondent au moment de la floraison et provoquent l'avortement des grains. Les variétés précoces sont moins attaquées par les premières générations ;
- > les foreurs de tige sont souvent abondants mais avec une incidence économique faible en raison du fort pouvoir de tallage et de la tolérance des variétés cultivées ;
- > les cantharides sont de redoutables ravageurs en cas de pullulation et les pertes peuvent atteindre 80 à 100%. Les taux d'attaques sont moins élevés dans les associations que dans la culture pure ;
- > la mineuse de l'épi peut avoir des incidences économiques graves au Mali, en Gambie, au Niger et au Bénin.

Le striga

Striga hermontica est une plante parasite qui constitue un danger redoutable pour le mil. Elle s'attache aux racines de la plante hôte et y prélève les éléments nutritifs. La plante hôte est affaiblie et, dans les cas d'infestation sévère, il n'y a pas de production d'épi. Il n'y a pas chez le mil de source connue de résistance au *striga*, même si les variétés précoces tendent à échapper à l'infestation. La sécheresse et la faible fertilité des sols favorisent l'infestation des parcelles par le *striga*. Une approche intégrée, associant différentes techniques culturales comme le désherbage manuel, la fertilisation et les techniques de conservation de l'humidité dans les sols, peut réduire de manière importante le niveau d'infestation par le *striga*.

● Les temps de travaux

Tableau 4. Temps de travaux (données collectées au Nord du Nigeria) en culture manuelle (en jours/ha)

Opération	Temps de travail
Préparation du sol	15
Semis	8
Entretien	40
Récolte	20
Total	83

● La récolte et les opérations post-récolte

Le mil est récolté essentiellement à la main. Les épis sont coupés et séchés au soleil avant d'être engrangés dans des greniers construits avec les résidus de culture ou de l'argile. Le mil est généralement stocké sous forme d'épi. Cette pratique permet de réduire les pertes liées au stockage.

● Les techniques de transformation

Presque toute la production de grain est destinée à l'alimentation humaine. Le mil est décortiqué et réduit en farine ou semoule, consommée sous forme de bouillie, pâte, boule ou couscous. Des unités de transformation apparaissent autour des grands centres urbains, grâce à une amélioration des techniques de transformation : épierreur poly-céréales pour nettoyer les grains avant la transformation.

● La composition biochimique

Le grain de mil est un aliment nutritif très énergétique.

Tableau 5. Composition alimentaire du mil

Élément	Teneur (%)
Amidon	62,8 – 70,5
Protéine	5,8 – 20,9
Lipide	4,1 – 6,4
Cendre	1,1 – 2,5

Comparé aux autres céréales, le mil contient une proportion supérieure de protéines de bonne qualité (forte teneur en lysine). Il constitue également une bonne source de lipides. La détérioration de la farine de mil au cours de la conservation est probablement due à sa teneur élevée en lipides. Les vitamines, particulièrement la thiamine, la riboflavine et l'acide nicotinique sont bien représentées chez le mil.

● La production et les filières

Tableau 6. Principales régions productrices de mil (source FAO)

Régions productrices	Superficie récoltée 2001 (millions ha)	Rendement 2001 (t/ha)	Production 2001 (millions tonnes)
<i>Asie du Sud</i>	13,51	0,74	10,06
Inde	12,76	0,75	9,50
<i>Afrique</i>	20,36	0,65	13,33
Nigeria	5,91	10,32	6,10
Niger	5,30	0,41	2,20
Soudan	2,20	0,22	0,48
Burkina	1,15	0,63	0,72
Sénégal	1,10	0,58	0,63
Mali	1,05	0,76	0,80
Total mondial	37,38	0,76	28,42

Les filières restent peu organisées, alors que l'industrie agroalimentaire montre un intérêt croissant pour l'utilisation du mil dans la fabrication de produits alimentaires. Cette stimulation de la demande pourrait faire du mil une culture commerciale. Une réorganisation de la filière va donc probablement s'opérer pour répondre aux nouvelles demandes du secteur de la transformation agroalimentaire.

● La recherche

La recherche doit mettre l'accent :

- > sur les activités à l'aval : amélioration des technologies de transformation et stimulation de la demande de produits à base de mil ;
- > sur le développement de variétés et d'hybrides performants répondant aux critères des transformateurs et utilisateurs, et adaptés aux différentes zones de culture ;
- > sur l'amélioration chez les producteurs des pratiques culturales (fumures organiques et minérales).

LE RIZ

Oryza sativa L et *Oryza glaberrima*

Anglais : rice

Espagnol et Portugais : arroz

Famille des Poaceae

● Les utilisations du riz

Le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde (environ 150 millions d'hectares). Elle constitue l'aliment de base de plus de la moitié de l'humanité. Outre son utilisation directe dans l'alimentation humaine, les grains de riz servent à fabriquer alcool, amidon et dérivés, huile, produits pharmaceutiques, aliments diététiques, etc.

Les sous-produits de transformation (brisure, farine, tourteau) et la paille sont utilisés en alimentation animale. Les balles de riz servent de combustible et les cendres d'engrais. La paille est également utilisée comme litière, comme matière première pour la fabrication de pâte à papier ou encore pour la fabrication de papier mural.

● La plante et son environnement

● La plante

● Les origines et la diversité

Les riz cultivés appartiennent au genre *Oryza* qui comporte vingt trois espèces. Ces espèces sont aujourd'hui distribuées sur tous les continents, mais l'origine du genre *Oryza* est eurasiatique.

Deux espèces sont cultivées. L'une d'origine africaine, *O. glaberrima*, est cantonnée presque uniquement en Afrique de l'Ouest ; l'autre d'origine asiatique, *O. sativa*, est présente aujourd'hui sur les cinq continents. Les deux espèces sont diploïdes ($2n = 24$) et autogames.

O. glaberrima est issue de la domestication, probablement dans le delta intérieur du Niger, de l'espèce annuelle *O. breviligulata*, elle-même issue de l'espèce pérenne à rhizome *O. longistaminata*. Du fait de sa faible productivité, la culture de cette espèce est aujourd'hui cantonnée à des systèmes de culture très marginaux.

Par contre, elle est de plus en plus utilisée comme source de caractères d'intérêt agronomique dans les programmes d'amélioration variétale du riz pour l'Afrique.

La domestication d'*O. sativa* à partir d'*O. rufipogon*, en Inde et en Chine, remonterait à plus de 8 000 ans. Son arrivée au Japon daterait du 1^{er} siècle. Les navigateurs malais ont introduit le riz de l'Indonésie à Madagascar vers le IV^e siècle. Les Européens ont introduit le riz asiatique en Afrique à partir du XV^e siècle et plus tard en Amérique.

O. sativa présente une grande diversité de formes. Ces formes ont été classées au sein de deux sous-espèces *indica* et *japonica*. Basée au départ sur des caractères morpho-physiologiques et sur le comportement en croisement, cette classification a été confirmée par les outils biochimiques et moléculaires d'analyse de la variabilité génétique.

La sous-espèce *indica* regroupe des variétés de culture aquatique tropicale, à tallage fort, à feuilles fines, à grain le plus souvent mince (longueur/largeur du grain > 3). Les variétés traditionnelles sont de taille haute, supérieure à un mètre ; les variétés modernes destinées à la riziculture irriguée intensive portent un gène de nanisme leur conférant une hauteur inférieure à un mètre.

La sous-espèce *japonica* comporte deux types morphologiques :

- > *japonica tempéré* : variétés pour la culture irriguée en Asie tempérée, dans le bassin méditerranéen et aux Etats-Unis, à tallage moyen, à feuilles fines et à grain le plus souvent court et arrondi ;
- > *japonica tropical* : variétés de culture essentiellement pluviale, à tallage faible, feuilles larges et grain le plus souvent long et large.

Le riz est la céréale qui a le plus petit génome et celui qui se prête le plus facilement à des manipulations génétiques. De ce fait, il est utilisé par les généticiens comme plante modèle. L'amélioration variétale du riz bénéficie de plus en plus des applications des biotechnologies.

La longueur du cycle végétatif varie de quatre-vingt à plus de deux cent cinquante jours selon les variétés et constitue souvent un critère important de classification et de choix variétal. Celle de la phase reproductive, épiaison à maturité, est peu variable (trente-cinq à quarante-cinq jours) et dépend surtout des conditions de culture. La plupart des variétés traditionnelles de riz, notamment les *indica*, sont photosensibles : l'initiation paniculaire nécessite des journées courtes et, sous une latitude donnée, la date de floraison est peu liée à la date de semis. La durée du cycle semis-épiaison dépend donc de la date de semis.

La collection mondiale des écotypes de riz cultivé, conservée par l'IRRI, comporte plus de cent mille entrées. Il existe de nombreuses autres collections de ressources génétiques à vocation régionale ou nationale. Sur chaque continent et dans chaque pays, des centres internationaux de recherche (IRRI en Asie, CIAT en Amérique du Sud et ADRAO en Afrique) et des services nationaux de recherche et de développement tiennent à jour des listes de variétés recommandées pour différents écosystèmes et différents systèmes de culture du riz.

Compte tenu de l'autogamie stricte du riz, les variétés cultivées sont généralement des lignées pures. Cependant la production de semences hybrides F1 est possible grâce à la stérilité mâle géno-cytoplasmique. En Chine, les cultivars hybrides F1 couvrent plus de la moitié des superficies cultivées en riz.

● **Les caractéristiques morphologiques**

Le riz est une plante herbacée annuelle, plus ou moins pubescente, à chaume dressé (sauf pour les variétés flottantes), disposée en touffe et portant des inflorescences en forme de panicule.

La plante développe successivement trois types de racines : la racine séminale, les racines du mésocotyle et les racines nodales. Le système racinaire est très abondant, ramifié et superficiel chez les variétés aquatiques, moins ramifié, de plus grand diamètre et plus profond chez les variétés pluviales.

Chaque grain germé donne naissance à une touffe pouvant compter jusqu'à trente talles au stade végétatif. Un nombre limité de ces talles, jusqu'à une quinzaine, produit des panicules. La hauteur de la plante à maturité varie de 0,60 m à plus de 2 m selon les variétés et peut aller jusqu'à 5 m pour les variétés flottantes.

L'inflorescence est une panicule ramifiée de 20 à 40 cm pouvant porter plus de cent fleurs ou épillets. Les organes reproducteurs sont entourés de deux petites glumes et deux glumelles emboîtées. À maturité ces enveloppes et le caryopse issu du développement de l'ovaire constituent le grain paddy. Selon les variétés, la glumelle inférieure est plus ou moins aristée. Sa couleur à maturité varie du paille claire au pourpre foncé en passant par des teintes dorées. Le caryopse est composé des téguments et de l'albumen. Les téguments peuvent être diversement colorés : brun rouge, gris, violet. L'albumen est plus ou moins translucide en fonction de sa teneur en amylose. Chez les variétés glutineuses, l'albumen est opaque, blanc et crayeux; sa teneur en amylose est voisine de zéro. Le poids de 1 000 grains de paddy varie de 20 à 45g.

● **L'écologie du riz**

Grâce à la très grande diversité morpho-physiologique de ses écotypes, le riz est cultivé dans des conditions écologiques très variées allant du pluvial strict à des situations inondées où la lame d'eau peut atteindre 5 m.

● **Les climats**

La latitude et l'altitude

Les deux paramètres agissent sur le riz par l'intermédiaire des températures. La latitude agit de plus par l'intermédiaire de la photopériode. Le riz est cultivé depuis le 40° Sud, en Argentine, jusqu'à 53° Nord, en Chine. Cependant sa principale zone de culture est l'Asie intertropicale. La plus haute altitude de culture se situe au Népal à plus de 3000 m, mais la plus grande partie des surfaces cultivées se trouve au dessous de 300 m.

La température

Tableau 7. Températures de l'air nécessaires à la culture du riz

Etape de développement	Températures de l'air (°C)		
	<i>Minimum</i>	<i>Optimum</i>	<i>Maximum</i>
Germination	14-16	30-35	42
Tallage	16-18	28-30	40
Floraison	22	27-29	40
Maturation		25	40

En culture aquatique, la température de l'eau est également importante. Le minimum est de 13-14°C, l'optimum de 30-34°C et le maximum de 38-40°C. À 50°C la plante meurt.

L'hygrométrie

Les rendements les plus élevés sont obtenus en culture irriguée sous des climats très secs (Égypte, Australie et Californie). La floraison, phase la plus sensible, nécessite une humidité de 70 à 80 % et une humidité élevée favorise le développement des maladies.

Le vent

Léger, le vent a un effet favorable car il accélère la transpiration ; fort, il peut arracher les jeunes plants ou provoquer la verse et l'échaudage à maturité.

La lumière

Le riz est une plante exigeante en lumière. Pour un cycle de culture de 120-130 jours, la somme des radiations solaires nécessaires correspond à 1 000 à 1 200 heures d'ensoleillement, le minimum étant de 400 heures. Les rendements les plus élevés sont obtenus sous forte luminosité : 400 cal/jour/cm². En zone équatoriale où le ciel est souvent couvert, la faible luminosité constitue un facteur limitant de la production.

La pluie et les besoins en eau

En culture sèche, il faut de 160 à 300 mm par mois pendant toute la durée du cycle, soit 1000 à 1800 mm. La phase d'initiation paniculaire est particulièrement sensible. En culture irriguée, il faut 12 000 à 20 000 m³/ha pour maintenir le sol submergé pendant toute la durée du cycle du riz. Les pluviosités élevées sont nuisibles par leurs effets mécaniques, notamment en période de floraison et de récolte, et par la nébulosité qui les accompagne.

● **Le sol**

En culture aquatique, les sols les plus adaptés sont ceux à texture argilo-limoneuse (70% d'éléments fins), riches en matière organique avec un pH de 6 à 7. Les sols alluvionnaires ou colluvionnaires des bas-fonds, des plaines inondables et des deltas des grands fleuves sont particulièrement adaptés. Mais le riz est aussi cultivé sur des sols très organiques (anciennes tourbières), sur des sols salés (jusqu'à 1% de salinité) ou en présence d'ion sulfure ou d'ion sulfate dans certaines zones de mangrove. Le riz supporte des pH de 4 à 8.

En culture sèche, le riz nécessite un sol riche et meuble, avec une bonne capacité au champ car le riz est particulièrement sensible à la sécheresse. Le pH optimum est de 6 à 7.

● **La culture du riz**

● **Les écosystèmes**

On distingue deux grands types d'écosystèmes rizicoles en fonction du régime hydrique.

● **Les écosystèmes aquatiques**

Ils sont caractérisés par la présence d'une lame d'eau, au moins temporaire. Ils représentent 88 % des superficies de culture de riz et peuvent être subdivisés en deux sous-types.

La riziculture irriguée

Dans la riziculture irriguée, la date d'arrivée et du retrait ainsi que la hauteur de la lame d'eau sont maîtrisées (55 % des superficies).

C'est dans ce type de riziculture que s'est faite la révolution verte des années 60 : l'utilisation simultanée de variétés demi-naines potentiellement très productives, d'engrais minéraux et de pesticides, associée à une bonne maîtrise de l'enherbement, grâce au repiquage et au désherbage manuel, a permis d'atteindre des rendements moyens de 4 à 5 t/ha. Le système de culture est souvent la monoculture du riz. L'utilisation de variétés précoces et non photosensibles permet jusqu'à trois cycles de culture par an. Avec l'accroissement du coût de la main-d'œuvre, la tendance est à l'abandon du repiquage au profit du semis direct.

Le défi majeur est l'amélioration du niveau de production avec des techniques plus respectueuses de l'environnement et plus économes en eau.

La riziculture inondée

Dans la riziculture inondée, ni les dates d'arrivée et de retrait, ni la hauteur de la lame d'eau ne sont maîtrisées.

Le système de culture le plus répandu est le semis direct. Les rendements dépassent rarement 4 t/ha. La préoccupation majeure est la stabilité des rendements autour de 3 t/ha. Les variétés utilisées doivent être rustiques, leur hauteur et leur cycle bien adaptés au régime hydrique.

On distingue les situations de submersion de 0 à 50 cm (23 % des superficies) de celles où la submersion correspond à une lame d'eau de plus de 50 cm, dont les riz flottants (10 % des superficies).

● **La riziculture pluviale**

La culture sans submersion est alimentée par les pluies ou par la nappe phréatique. Ce système représente 12 % des superficies rizicultivées mondiales (40 % en Afrique). Le riz pluvial est traditionnellement cultivé dans des systèmes itinérants d'abattis-brûlis.

Ces systèmes sont de moins en moins productifs du fait du raccourcissement de la durée des jachères (rendements de 1 t/ha au lieu de 2 t/ha). Ils se heurtent aussi de plus en plus à la préoccupation de protection des forêts. La fixation de la riziculture pluviale est un enjeu important de développement. Les exemples de certaines zones densément peuplées d'Afrique et de certaines grandes exploitations du Brésil montrent qu'elle est techniquement possible.

● **L'élaboration du rendement**

Le rendement du riz est donné en paddy à 14 % d'humidité. Il représente moins de la moitié du rendement biologique qui est le poids total de la matière sèche produite.

Calcul du rendement en grain

Il est réalisé avec la formule suivante :

Rendement (t/ha) = (nombre de plantes par m²) x (nombre de panicules par plante) x (nombre de grains par panicule) x (% de grains pleins) x (poids de 1 000 grains en grammes) x 10⁻⁵.

Par exemple, dans une parcelle de riz irrigué parfaitement conduite le rendement sera égal à :

$10 \times 25 \times 158 \times 95 \times 25 \times 10^{-5} = 9,38$ t/ha de paddy.

Les composantes du rendement dépendent aussi des conditions de culture. Elles sont aussi très interdépendantes : par exemple un faible nombre de plante au m² peut être en partie corrigé par un tallage plus élevé ou par un plus grand nombre de grains par panicule.

Les techniques culturales et les conditions climatiques ont une influence décisive sur chacune des composantes du rendement en grain. En revanche, elles ont un effet limité sur l'indice de récolte (rendement en grain/production totale de matière sèche), qui est avant tout une caractéristique variétale.

● Les itinéraires techniques

Les itinéraires techniques sont fortement influencés par le système d'alimentation hydrique : culture irriguée, inondée ou pluviale. Lorsque cette alimentation dépend directement des pluies, le calage du cycle par rapport à la saison des pluies (date de semis, date d'épiaison, longueur du cycle) revêt une importance capitale.

● La mise en place de la culture

Les modalités de mise en place de la culture sont très variées. On en distingue deux grandes : repiquage et semis direct ; ce dernier pouvant être subdivisé selon l'état du sol au moment du semis et selon la conduite de l'eau après le semis.

La préparation du sol

Elle comprend un ou deux labours et plusieurs hersages en sol sec ou après la mise en eau lorsque la mise en place de la culture se fait sur boue. Le labour de fin de cycle est recommandé pour enfouir les résidus de récolte et aérer le sol. La préparation du lit de semis ou la mise en boue doit intervenir juste avant le semis ou le repiquage de manière à laisser un sol exempt de mauvaises herbes. Ces opérations peuvent être réalisées aussi bien en culture mécanisée qu'en culture attelée ou manuelle. En culture pluviale sur abattis-brûlis ou sur couverture végétale, le sol n'est pas travaillé.

La pépinière

L'établissement d'une pépinière consiste à assurer la première phase du développement du riz dans un milieu bien contrôlé. Sur de petites planches de 10 à 20 m² le sol est ameubli, débarrassé de toutes mauvaises herbes, fumé, notamment avec du P₂O₅, mis en boue et nivelé.

Des semences préalablement triées et traitées avec un mélange fongicide-insecticide, prégermées ou non, sont semées à une dose de 10 à 20 kg pour 100 m² de pépinière. Il faut 400 m² de pépinière pour un hectare de rizière, soit un rapport de 1 à 25.

La pépinière est submergée après la levée en suivant le développement du riz, sans toutefois dépasser 10 cm. Une méthode particulièrement sophistiquée utilisant un film plastique, la pépinière *dapog*, a été mise au point aux Philippines. Elle permet de réduire les superficies et les quantités de semences utilisées. Son utilisation nécessite d'avoir des rizières parfaitement aplanies.

Le repiquage

Le paramètre le plus important est l'âge des plants au repiquage. L'optimum est de vingt à trente jours ; au-delà il existe une corrélation négative entre l'âge des plants et le potentiel de production.

Les plants à repiquer sont arrachés, lavés, bottelés, habillés et repiqués le jour même ou dans les deux jours au maximum. La profondeur du repiquage est de 2 à 5 cm (au-delà, il y a diminution de la capacité de tallage) et le nombre de brins par touffe est de trois à dix en fonction de la fertilité du sol qui favorise le tallage, et de l'âge des plants qui diminue le tallage. La reprise intervient cinq à quinze jours plus tard, en fonction de l'âge des plants au repiquage.

Le semis direct

Trois modalités sont distinguées selon l'état hydrique du sol au moment du semis : semis sur boue, semis dans une lame d'eau de 5-10 cm et semis à sec. Les deux premières concernent uniquement la riziculture irriguée, la troisième est utilisée aussi bien en riziculture irriguée intensive (Australie, Etats-Unis, Europe) qu'en riziculture inondée (Afrique, Asie) et en riziculture pluviale. Le semis direct est le plus souvent réalisé à la volée. Dans les systèmes sans travail du sol, il est toutefois réalisé en poquets.

Par rapport au repiquage, le semis direct présente l'avantage d'être plus économique en main-d'œuvre en début de cycle, de ne pas faire subir aux jeunes plants un choc physiologique qui allonge le cycle, et de mieux se prêter à la culture mécanisée. Ses inconvénients majeurs sont une plus grande consommation en semence et, surtout, une plus grande pression des adventices nécessitant plus de désherbage mécanique ou chimique.

● **L'entretien**

L'irrigation

La lame d'eau est un outil de lutte contre les mauvaises herbes, un volant thermique, un régulateur de pH et un régulateur de la croissance et du développement du riz. En général, elle est augmentée progressivement avec le développement du riz, puis stabilisée à une hauteur de 10 à 25 cm jusqu'à la floraison. En cours de maturation, on assèche progressivement la rizière ; ceci est important pour la qualité du grain. Il existe des techniques plus sophistiquées d'irrigation pour augmenter l'efficacité de l'eau. Selon le type de sol, la longueur du cycle du riz et les modalités d'irrigation, l'efficacité de l'eau varie de 0,2 à 1,2 g de paddy par litre d'eau consommé.

Le contrôle des adventices

Les adventices sont souvent le premier facteur limitant de la production rizicole. Les mesures préventives sont rarement suffisantes : semences indemnes de graines d'adventices, nettoyage des canaux et diguettes, bonne préparation du sol, emploi judicieux des rotations de culture et bon contrôle de l'eau.

Il faut avoir recours au désherbage mécanique ou chimique. Quelle que soit la méthode, l'efficacité du désherbage dépend de sa précocité.

Le désherbage mécanique, qu'il soit manuel ou utilise des outils tractés, est plus facile dans les cultures en ligne. Deux désherbages sont souvent nécessaires : quinze à trente jours après la levée ou le repiquage en première intervention ; vingt à trente jours plus tard pour la seconde.

Les modalités de désherbage chimique (pré-levée ou post-levée, en présence ou non d'une lame d'eau) doivent être adaptées à celles de la mise en place de la culture (repiquage ou semis direct), au niveau de maîtrise de l'eau et aux types d'adventices présentes. Le choix des produits doit aussi prendre en compte les risques environnementaux, dont celui d'apparition de résistances chez les adventices.

● **La fumure**

Les prélèvements totaux pour produire une tonne de paddy sont de 16 à 24 kg de N, 3 à 7 kg de P₂O₅, 30 à 55 kg de K₂O, 100 à 200 kg de silice (Si) et 2 à 5 kg de Ca, Mg et S.

L'efficacité d'absorption de l'azote minéral varie de 20 à 60 % en fonction des conditions (type de sol, maîtrise de l'eau, pH et température de l'eau), des doses et modalités d'apport (fractionnement ou non) et des variétés. Les besoins sont particulièrement importants au tallage et à l'initiation paniculaire. Le phosphore est absorbé à un rythme régulier jusqu'à la floraison. Le potassium est absorbé en grande partie après la montaison, et plus de 80 % du potassium absorbé est stocké dans les pailles.

● **La protection de la culture**

Les maladies

- > *Les maladies fongiques* : la principale est la pyriculariose (*Magnaporthe grisea*). Elle est présente sur tous les continents et dans tous les systèmes de culture. Son importance dépend de la présence d'inoculum (variable selon les régions), du stade de développement de la plante et du niveau de résistance de la variété de riz. La maladie est favorisée par des degrés élevés d'humidité de l'air, par la sécheresse du sol et par des doses élevées d'azote. La lésion foliaire typique est en forme de fuseau, gris vert au début, brun pâle avec un centre gris et entourée d'un liseré brun par la suite. Il existe des fongicides efficaces, largement utilisés dans certains pays d'Asie, mais la résistance variétale reste la composante principale de toutes les stratégies de lutte contre cette maladie. Les autres maladies fongiques (Helmintosporiose, rhynchosporiose, cercosporiose, flétrissement des gaines dû à *Rhizoctonia solani*) provoquent rarement des dégâts significatifs.
- > *Les maladies bactériennes* : la principale est le flétrissement bactérien (*Xantomonas campestris* pv. *Oryzae*) présent surtout en Asie. Viennent ensuite les stries bactériennes (*Xantomonas translucens*) et la pourriture brune des gaines (*Pseudomonas fuscovaginae*); cette dernière a été identifiée récemment en zone d'altitude à Madagascar. La lutte contre ces maladies passe par l'utilisation de variétés résistantes.

> *Les maladies virales* : trois maladies virales atteignent des proportions épidémiques. Il s'agit du tungro causé par un complexe de virus en Asie, du hoja blanca (RHBV) en Amérique du Sud et de la panachure jaune (RYMV) en Afrique. Les symptômes sont divers types de décolorations foliaires accompagnées de nanisme et de retard à l'épiaison, pouvant entraîner la mort de la plante. La résistance variétale est la principale stratégie de lutte.

Les insectes

Le riz est l'hôte de plusieurs centaines d'espèces d'insectes dont une trentaine provoquent des pertes significatives au champ ou en cours de conservation du paddy.

Des mineuses et destructeurs des feuilles s'attaquent au riz dès le stade plantule ; les espèces varient d'une région à l'autre. Les attaques des foreurs de tige lépidoptères (Pyrales et Noctuelles) se traduisent par des *cœurs morts* et des *panicules blanches*, celles des diptères (Diopsides et Cecidomyies) par des *feuilles d'oignon*. Au cours de la phase reproductive, de nombreuses cicadelles s'attaquent aux feuilles du riz et sont responsables de la transmission de maladies virales. Enfin, de nombreuses punaises s'attaquent au grain de riz en cours de maturation.

L'évaluation économique du degré de nuisance de ces insectes est difficile à réaliser. Elle est cependant nécessaire avant d'envisager des traitements chimiques. Lorsque le recours aux insecticides est nécessaire, il faut éviter les produits à large spectre qui peuvent avoir un effet négatif sur les populations de parasites et de prédateurs de l'insecte visé. Parmi les insectes s'attaquant aux grains de riz récoltés, le charançon (*Sitophilus oryzae*) est de loin le ravageur le plus sérieux. En zone humide, il est recommandé de traiter même le paddy destiné à la consommation.

● Les temps de travaux

Le nombre de journées de travail par hectare varie beaucoup selon les systèmes de culture : cent cinquante jours en système mixte manuel et culture attelée à Madagascar, moins de dix jours en système très mécanisé aux Etats-Unis.

Tableau 8. Temps de travaux dans divers pays selon divers systèmes de culture du riz (en journées/hectare)

Opérations culturales	Riz pluvial itinérant Côte d'Ivoire	Riz inondé - culture attelée : Mali	Riz irrigué - culture manuelle : Vietnam	Riz irrigué - culture mécanisée : Etats-Unis
Abattage-brûlis, clôture	58			
Fertilisation				
Labour		5	22	1
Fertilisation		2		(1)
Préparation lit de semis		2	18	1,4
Entretien digues				
Pépinière			11	
Semis	24	2		2,1
Arrachage, transport plants			10	
Repiquage			35	
Irrigation			30	
Sarclage	49	60	30	(2)
Récolte	36	20	35	0,2
Battage		10	7	0,3
Séchage vannage		10	6	
Déchaumage			13	
Total	167	111	217	5

(1) Les temps de travaux sont donnés en journées/hectare ; (2) Travaux effectués par avion à la tâche.

● La récolte et les opérations post-récolte

● La récolte

Le stade de récolte permettant le meilleur rendement à l'usinage est celui où la majorité des panicules ont leur axe principal sec sur un tiers de la longueur. La récolte comprend quatre opérations : coupe, séchage, battage et nettoyage.

● La coupe

Elle est réalisée au couteau au-dessous du nœud paniculaire, à la faucille ou à la faux à 20-30 cm au-dessus du sol, ou encore avec des outils motorisés associant ou non la coupe et le battage. En Asie, les machines qui coupent seulement les panicules ou qui les égrènent sans couper la paille sont très appréciées.

● Le séchage

En système traditionnel, les tiges coupées sont laissées sur le sol trois à quatre jours pour un premier séchage. Puis les gerbes sont rassemblées en meule pour poursuivre le séchage tout en protégeant les grains des rayons du soleil. En cas d'utilisation d'une moissonneuse-batteuse, ce sont les grains qui sont séchés sur une aire de séchage ou dans des installations plus sophistiquées. L'opération de séchage est particulièrement importante dans les régions très pluvieuses et dans les systèmes de double ou triple culture annuelle du riz.

● Le battage

En système traditionnel, il est réalisé en frappant les gerbes contre une pierre, une planche ou un tonneau, au bâton, au fléau ou encore par le piétinement d'animaux ou de véhicules à moteur.

Des batteuses à pédale sont largement utilisées en Asie depuis plusieurs décennies. Le recours à la batteuse à moteur constitue souvent le premier pas vers la mécanisation de la culture du riz. Il existe un grand choix de capacités.

● **Le nettoyage**

Le nettoyage traditionnel est fait par vannage au vent. Les batteuses modernes sont équipées de dispositifs de ventilation qui permettent la séparation du grain des matières légères : pailles, poussières et grains vides.

● **L'étuvage et le décortilage**

Lorsque la production du riz est destinée à l'autoconsommation et à la vente de détail sur les marchés locaux, deux autres opérations sont réalisées à la ferme : l'étuvage et le décortilage.

L'étuvage est une pratique très ancienne. Aujourd'hui, 15 à 20 % de la production mondiale de riz serait étuvée. L'étuvage domestique consiste en un trempage du paddy dans de l'eau chaude suivi d'un séchage. Le principal objectif est de réduire le taux de brisure au décortilage. L'opération améliore aussi la valeur nutritive du riz en favorisant la migration des protéines et des vitamines depuis le tégument vers l'intérieur du grain (elles ne sont ainsi pas éliminées à l'usinage) et modifie sa qualité à la cuisson. Si le trempage est mal maîtrisé, des fermentations microbiennes anaérobies détériorent la qualité du riz et lui donnent une odeur désagréable.

Le décortilage consiste à séparer le caryopse de ses enveloppes, glumes et glumelles. Le produit obtenu est le riz cargo. Le décortilage à la ferme au pilon est de plus en plus rare. Il cède la place aux petites décortiqueuses motorisées artisanales présentes sur les marchés ruraux.

● **La qualité du riz**

De l'agriculteur au consommateur, chaque acteur de la filière a ses propres exigences de qualité. Pour les transformateurs et commerçants, le critère le plus important est le rendement au décortilage et au blanchiment. Le pourcentage de grains entiers dépend, outre les conditions de culture et les procédés de transformation, du format du grain. Les grains ronds et demi-longs sont peu sensibles aux conditions de transformation : même les décortiqueuses multi-usages et le décortilage manuel au pilon donnent de bons résultats. Par contre, l'obtention de rendements acceptables avec les grains longs nécessite des installations industrielles spécialisées ou la pratique de l'étuvage. Les classifications sur le marché se font en fonction de la longueur et du format, du goût (aromatique ou non) et de l'aspect après cuisson (gluant ou non).

Catégories de longueur et format de grain

Les catégories de longueur (L) du grain décortiqué sont les suivantes (en mm) : très long ($L > 7$), long ($6 < L < 7$), demi long ($5 < L < 6$) et court ($L < 5$).

Les formats de grain (longueur/largeur (L/l) du grain décortiqué) sont les suivants : mince ($L/l > 3$), moyen ($3 > L/l > 2,4$), épais ($2,39 > L/l > 2$) et rond ($L/l < 2$).

Pour les consommateurs, les critères d'appréciation les plus importants sont la tenue à la cuisson (riz plus ou moins collant en fonction de la teneur en amylose), l'aptitude au gonflement, le goût et la possibilité de conservation après la cuisson. Viennent ensuite la taille du grain et sa couleur, la fermeté et l'odeur du riz cuit, ainsi que la vitesse de cuisson. Les citadins peuvent parfois être plus sensibles que les ruraux à ces derniers critères, d'où l'engouement pour les riz Basmati et certaines variétés thaï à grain long, mince et aromatique.

● La production actuelle et ses perspectives

● La situation actuelle et les évolutions récentes

L'Asie domine la production mondiale avec 91 % de la production et 89 % des surfaces. L'augmentation continue de la production depuis 1975 s'est faite essentiellement par l'augmentation des rendements. Vient ensuite l'Amérique du Sud avec 3,6 % de la production et 4 % des surfaces, le Brésil représentant plus de 54 % de cette production. L'Afrique assure 2,9 % de la production mondiale sur 4,8 % des surfaces rizicultivées. En Afrique du Nord, l'Égypte dispose d'une riziculture très performante : des rendements moyens de 7 t/ha sur 450 000 ha. En Afrique de l'Ouest, l'essentiel des augmentations de production des vingt dernières années est lié à l'augmentation des superficies. Le plus grand producteur est le Nigéria, viennent ensuite la Côte d'Ivoire, la Guinée et le Mali.

Tableau 9. Evolution de la production de riz dans le monde

Continent ou pays	Superficies en 2000 (1 000 ha)	Production en 2000 (1 000 t)	Production 1970 (1 000 t)	Accroissement de la production 1970-2000 (%)
Monde	154 000	598 240	316 380	90
Asie	138 030	544 870	290 100	90
Afrique	7 650	16 730	7 330	130
Amérique du Sud	5 702	20 690	10 440	100
Bangladesh	10 900	36 360	16 710	120
Chine	30 300	189 810	113 100	70
Inde	45 790	129 440	63 340	105
Indonésie	11.610	51 180	19 330	165
Thaïlande	9 760	25 610	13 850	85
Vietnam	7 670	32 530	10 170	220
Myanmar	6 300	21 320	8 160	160
Philippines	4 040	12 390	5 580	120
Brésil	3 660	11 090	7 550	50

Source : FAO, 2002

● Les perspectives

La consommation annuelle moyenne de riz par habitant dans le monde varie de moins de 5 kg à près de 200 kg de riz blanchi ; la moyenne est de 65 à 70 kg. De 2000 à 2025, la demande de riz devrait augmenter à un rythme annuel de 1,7 % dans le monde et 2,1 % en Asie.

En Asie, l'augmentation de la production ne peut plus guère venir de l'augmentation des surfaces et on assiste à une stagnation des rendements (moyenne de 4,5 à 5 t/ha) dans l'écosystème irrigué qui fournit près de 80 % de la production. Cependant d'importantes marges de progrès subsistent dans l'écosystème aquatique sans maîtrise de l'eau où le rendement moyen est inférieur à 2 t/ha. En Afrique et en Amérique latine, l'augmentation de la production peut s'appuyer à la fois sur l'augmentation des superficies et l'amélioration des rendements.

À l'avenir, des contraintes plus globales pourraient peser sur la riziculture : le développement des villes empiétant sur les rizières, la disponibilité en eau, l'image négative dans l'opinion liée à la production de méthane, ainsi que l'augmentation du taux de CO₂ et l'effet de serre. Cependant le riz est aussi la seule plante de grande culture dont le génome est déjà entièrement séquencé. Cette avance devrait faciliter la levée des contraintes.

LE SORGHO⁶

Sorghum bicolor

Anglais : sorghum

Espagnol : sorgo

● La classification botanique

Le sorgho cultivé appartient à la famille des poaceae et à la tribu des andropogoneae qui comprend aussi la canne à sucre et le maïs. Les sorghos cultivés pour le grain sont classés dans la sous espèce *bicolor* de l'espèce *Sorghum bicolor* (*Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*) qui est diploïde (n = 10).

Outre cette sous-espèce, on reconnaît, dans l'espèce *Sorghum bicolor*, deux autres sous-espèces qui peuvent donner des sorghos fourragers : *Sorghum bicolor* subsp. *Arundinaceum*, forme diploïde sauvage du sorgho cultivé avec lequel il se croise facilement et *Sorghum bicolor* subsp. *Drumondii*, forme intermédiaire issue de l'hybridation naturelle entre les deux autres sous espèces.

Il existe aussi deux autres espèces de sorghos tétraploïdes utilisées pour donner des sorghos fourragers : *Sorghum halepense* et *Sorghum almun.*

● Les utilisations du sorgho

Plante d'origine tropicale, le sorgho a conquis les régions sub-tropicales et tempérées au point de devenir la cinquième céréale mondiale.

⁶ Cf. chapitre 522.

En zone tempérée, le sorgho est d'abord cultivé pour l'alimentation animale. Toute la plante peut être utilisée. Cependant, selon le mode d'exploitation, on distingue les sorghos fourragers, les sorghos ensilage et les sorghos grain.

Dans les régions tropicales, le sorgho est essentiellement cultivé pour son grain destiné d'abord à l'alimentation humaine. Le grain peut être consommé entier. Il peut aussi être décortiqué pour faire des bouillies comme le tô en Afrique de l'Ouest, du couscous, des beignets ou des galettes. Le grain peut également être fermenté pour donner des boissons alcoolisées : bière traditionnelle d'Afrique de l'Ouest ou vin de sorgho en Chine. La paille de ces sorghos est un sous-produit intéressant. Elle peut être utilisée pour l'alimentation des animaux ou servir de combustible ou de matériau de construction.

À cela s'ajoutent d'autres utilisations du sorgho, à caractère industriel ou artisanal, qui donnent lieu à la sélection de types particuliers :

- > *sorghos papetiers* dont la tige riche en fibres est utilisée pour la fabrication de papier ou de panneaux de construction ;
- > *sorghos à grains riches en amidon* utilisés pour préparer des colles, des adhésifs ou du dextrose ;
- > *sorghos sucriers* qui peuvent produire des bio-carburants ou qui, selon la composition en oses du jus de la moelle, donnent des sirops ou du sucre cristallisable ;
- > *sorghos à balai* dont la hampe fructifère (panicule) dépouillée de ses grains sert à faire des balais durs ;
- > *sorghos tinctoriaux* dont les tiges et feuilles riches en pigments anthocyanés donnent après broyage et macération une teinture rouge utilisée en tannerie ou en poterie.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine, la diversification et la diffusion**

La domestication du sorgho a vraisemblablement eu lieu il y a plusieurs millénaires en Afrique au sud-est du Sahara. Les plus vieux restes archéologiques de cette céréale ont été trouvés à la frontière Soudan-Egypte et ont été datés à plus de 6 000 ans avant J.C. Par la suite, d'autres centres géographiques ont été actifs dans la diversification du sorgho cultivé. En Afrique, on en connaît trois :

- > le centre ouest-africain qui a contribué à l'établissement des sorghos de race *guinea* ;
- > le centre est-africain riche en sorghos des races *caudatum* et *durra* ;
- > le centre sud-africain à l'origine des sorghos de race *kafir*.

Dès le troisième millénaire avant J.C., ces sorghos auraient gagné l'Asie. Leur présence est attestée dans la péninsule arabique vers 2500 avant J.C., puis en Inde vers 1800 avant J.C., et enfin en Chine qui a pu être un dernier centre de diversification dont témoigne l'originalité des sorghos *Kaoliang* qui y sont rencontrés.

L'arrivée du sorgho en Europe date de l'époque romaine. Transporté en Amérique à l'époque des grandes découvertes, le sorgho ne s'y est véritablement diffusé qu'à partir du XIX^e siècle, notamment aux Etats-Unis. Aujourd'hui le sorgho est présent sur tous les continents.

● **La morphologie**

Le sorgho possède un système racinaire puissant, capable de descendre rapidement à une grande profondeur du sol (jusqu'à 2 m) pour y extraire l'eau et les éléments minéraux. Cette particularité explique en partie les qualités de rusticité et de résistance à la sécheresse observées chez les sorghos.

L'appareil végétatif d'une plante de sorgho comprend une tige principale accompagnée de talles issues du développement de bourgeons adventifs situés à la base du brin maître. Le nombre de talles par plante varie en fonction des caractéristiques variétales et des conditions de culture. Il est élevé chez les sorghos fourragers (environ une dizaine de talles par plante), moyen chez les sorghos de race *guinea* et faible voir nul chez les hybrides sélectionnés, notamment quand ils sont semés à forte densité.

La hauteur de la plante de sorgho dépend du nombre de nœuds émis (donc de la durée du cycle végétatif) et de la taille des entre-nœuds (sous contrôle génique). La hauteur de la plante à maturité peut varier de 50 cm à 5m. La grosseur des tiges varie également, avec un diamètre basal pouvant aller de 5 mm à 4 cm. Les tiges ont généralement une croissance érigée. Les tissus internes sont secs ou juteux, insipides ou sucrés.

Suivant le cycle des variétés, le nombre de feuilles portées par tige varie de quelques unités à plus de trente. Leur longueur varie de 30 à 135 cm et leur largeur de 1,5 à 13 cm au niveau le plus large. La nervure centrale des feuilles est de couleur blanche ou jaune chez les sorghos à tige sèche. Chez les sorghos juteux, la coloration est verte avec souvent une fine bande centrale blanche. Enfin, il existe des sorghos à nervure brune liée à une mutation de la lignine, qui améliore la valeur fourragère des pailles. Sous l'action d'attaques parasitaires ou de blessures, des tâches se manifestent sur les feuilles. Si ces tâches sont de couleur rouge, elles caractérisent un sorgho de type *anthocyané*. Si elles sont de couleur jaune, elles désignent un sorgho de type *tan*.

L'inflorescence est une panicule. Elle est constituée d'un axe central, le rachis, d'où partent des branches primaires souvent groupées en verticille le long du rachis. Ces ramifications primaires portent des ramifications secondaires qui, à leur tour, peuvent donner des ramifications tertiaires. La ramification ultime est un racème. Il porte une paire d'épillets, l'un sessile et fertile, l'autre pédicellé et stérile. L'épillet sessile comporte deux fleurs. Sauf cas particulier (sorgho à grain double), seule la fleur supérieure est complète. Les épillets sessiles peuvent être aristés. Le nombre d'épillets fertiles par panicule est variable (habituellement de 2000 à 4000).

La graine de sorgho est un caryopse composé de trois parties principales : l'enveloppe qui constitue le péricarpe, le tissu de réserve ou albumen et, enfin, l'embryon. Entre le péricarpe et l'albumen peut s'insérer une couche hautement pigmentée, la couche brune encore appelée testa. Sa présence ou son absence est une caractéristique variétale. Riche en tanins, elle confère aux grains des qualités de résistance aux moisissures et aux oiseaux. En revanche, elle colore les préparations culinaires, leur donne de l'amertume et diminue leur digestibilité.

L'albumen présente au centre du grain une partie farineuse plus ou moins importante qui est entourée par une partie vitreuse. L'albumen est normalement blanc. Il existe cependant des sorghos à albumen jaune. Cette particularité leur vient d'une haute teneur en pigments caroténoïdes qui améliore la qualité nutritive des grains. En contrepartie, elle augmente leur sensibilité aux moisissures.

La couleur du grain de sorgho est une caractéristique variétale due à plusieurs facteurs génétiques. Elle peut aller du blanc au brun très foncé en passant par le jaune, l'orangé, le rouge. Globalement, plus la couleur du grain est claire et plus sa teneur en tanins est faible et sa valeur nutritive bonne. Le poids de 1 000 graines est généralement compris entre 15 et 40 grammes.

● La reproduction, les ressources génétiques et la sélection

Le sorgho cultivé est une plante considérée comme autogame. Son taux d'allogamie est faible. Il est de l'ordre de 5 % en moyenne. Il est cependant différent selon les variétés : nul pour les variétés dont les fleurs ne s'ouvrent pas au moment de la fécondation, il peut atteindre 30 % pour certains sorghos fourragers ou de race *guinea*.

Le sorgho cultivé pour le grain (*Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*) présente une grande diversité morphologique. Une classification simplifiée définit cinq races principales, d'après les caractéristiques de la panicule et de l'épillet :

- > *les bicolor* sont les sorghos aux caractères les plus primitifs. Ils sont présents en Afrique et en Asie. Leur panicule est lâche et leurs grains, très petits, sont enveloppés par des glumes couvrantes et adhérentes. On y trouve des sorghos à balai, des sorghos papetiers et des sorghos fourragers ;
- > *les guinea* sont les sorghos typiques d'Afrique de l'Ouest, mais ils sont aussi cultivés en Afrique australe. Ils sont généralement de grande taille et photopériodiques, avec une panicule lâche. Leur grain elliptique est pris dans des glumes ouvertes. Ils sont bien adaptés aux zones de culture du sorgho les plus pluvieuses. Cette race, très diversifiée, est d'abord appréciée pour la qualité de ses grains. On y distingue plusieurs types, dont le type *margaritifera*, caractérisé par des grains petits et vitreux, le type *gambicum* à gros grains assez vitreux et le type *guineense* à gros grains peu vitreux ;
- > *les durra* se rencontrent essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde. Ils ont une panicule compacte souvent portée par un pédoncule crossé et des grains globuleux. Ils se distinguent par la grosseur de leur grain et leur résistance à la sécheresse ;
- > *les kafir* sont répandus en Afrique australe. Ce sont des sorghos peu diversifiés, de taille plutôt courte, peu ou non photopériodiques. Leur panicule est compacte et cylindrique. Ils sont intéressants pour leur précocité ;
- > *les caudatum* sont surtout cultivés en Afrique du Centre et de l'Est. Leur panicule a une forme variable. Leurs grains sont dissymétriques, aplatis sur la face ventrale et bombés sur la face dorsale. Ils produisent beaucoup de grains souvent farineux et de médiocre qualité.

En raison de son autogamie préférentielle, le sorgho est souvent sélectionné sous forme de matériel fixé. La production semencière de ces cultivars demande d'isoler les parcelles de multiplication par rapport aux autres champs de sorgho (100 mètres minimum) et d'épurer les plantes hors types le plus tôt possible.

L'obtention d'hybrides est possible grâce à la stérilité mâle génocyttoplasmique. Les sélectionneurs des zones tempérées privilégient leur création mais leurs contraintes de fabrication et d'utilisation les rendent difficilement vulgarisables dans les régions tropicales.

En zone tropicale, les programmes de sélection valorisent le matériel local, soit directement par l'identification de meilleurs écotypes, soit par croisement suivi de sélection généalogique pour transférer leurs caractéristiques intéressantes à des lignées sélectionnées : qualité du grain, photopériodisme, résistance aux ravageurs, etc.

Pour la sélection de lignées pour le grain, un certain nombre d'objectifs sont fréquemment pris en compte.

Au point de vue morphologique, ce sont :

- > une taille moyenne d'environ 2 m ;
- > un tallage faible ;
- > une panicule bien fournie et aérée avec une bonne exsertion du pédoncule ;
- > un rapport grain/paille élevé.

Au point de vue physiologique il s'agit :

- > d'une bonne vigueur à la levée ;
- > d'une bonne adaptation à la durée de la saison des pluies. Ce critère amène à sélectionner le matériel pour différents niveaux de photopériodisme ;
- > d'une résistance aux principaux parasites locaux (striga, maladies foliaires, moisissures des grains, foreurs des tiges, punaises des panicules, cécidomyie) ;
- > d'une sénescence tardive, caractère lié à la résistance à la sécheresse de fin de cycle et la résistance à la verse ;
- > d'un rendement élevé et régulier.

Du point de vue de l'utilisateur, la qualité du grain (adaptation aux contraintes de la transformation et aux goûts des consommateurs) représente également un critère important de sélection.

Quelques bonnes variétés locales

Parmi les principales variétés de sorgho grain disponibles pour l'Afrique, on peut citer de bonnes variétés locales comme Tiemarifing et Foulatieba (Mali), Sarioso 1 et 9 (Burkina Faso), IS 15401 (Cameroun), El Mota (Niger), KLM2 (Tchad), E 35-1 (Ethiopie), Framida (ZAF). Ce matériel est proposé pour des systèmes culturaux traditionnels et de bonnes lignées sélectionnées sont proposées pour des systèmes culturaux semi-intensifs (cf. tableau 10).

Tableau 10. Lignées sélectionnées pour des systèmes culturaux semi-intensifs

Cycle végétatif compris entre 90 et 100 jours (non photosensibles)	Cycle végétatifs compris entre 100 et 120 jours (peu photosensibles)	Cycle végétatifs supérieurs à 120 jours (photosensibles)
IRAT 11, IRAT 202, IRAT 204, IRAT 207 (adapté à l'irrigation de contre saison), BF 88-2/31-3, ICVS 901, Sorvato 28	CIRAD 406, CIRAD 436 (Sarioso 13), CIRAD 437 (Sarioso 14), IRAT 9, IRAT 11, Sarioso 10, F2-20, ICSV 1049, S 35, ICVS 111	IRAT 174

Des hybrides ont fait leur preuve en système de culture intensif (hybrides américains comme nk 300, français comme Argence et Aralba ou sélectionnés en Afrique : IRAT 180, IRAT 372, IRAT 382, ICSH 89002 NG).

Peu de sorghos fourragers ont été évalués en zone tropicale. On peut citer les variétés Piper et Green Leaf.

Les établissements fournisseurs de semences de sorgho

CIRAD, 34398, Montpellier Cedex 5, France.

ICRISAT, Patancheru 502324, Andhra Pradesh, Inde.

Novartis France S.A., BP 410, F-92845, Rueil Malmaison Cedex, France.

RAGT Semences, BP 31, 12033 Rodez cedex 9, France.

Rustica Prograin Génétique, Domaine de Sandreau, 31700 Mondoville, France.

Semences de Provence (UCASP), rue G. Monge, ZIS, 13200 Arles, France.

● **L'écologie et l'environnement du sorgho**

La graine de sorgho n'est pratiquement pas dormante. Pour germer, elle demande un sol humide et des températures moyennes journalières supérieures à 12°C. Si les conditions sont bonnes ($T > 20^{\circ}\text{C}$), les semences lèvent en trois ou quatre jours. L'optimum de température pour la croissance est d'environ 30°C.

À un stade jeune ou suite à une reprise de croissance après une coupe ou un stress physiologique, certaines variétés de sorgho peuvent empoisonner le bétail qui les pâture. Leur toxicité est due à un composé présent dans les parties végétatives, la dur-rhine, qui produit de l'acide cyanhydrique pendant la digestion. Il convient donc d'être prudent quand on alimente du bétail avec de jeunes plantes ou des repousses de sorgho. La toxicité disparaît à la floraison.

La plupart des variétés locales, notamment africaines, sont photopériodiques de jours courts. La floraison est déclenchée lorsque la durée du jour raccourcit et devient inférieure à une valeur seuil. Il existe une liaison entre cette valeur seuil et la fin de la saison des pluies du lieu d'origine des variétés locales. Quelle que soit la date de semis, celles-ci y fleuriront à une date relativement fixe qui permet un calage de la maturation des grains sur le début de la saison sèche. En conséquence, plus le semis est réalisé tôt, plus la durée du cycle végétatif est longue. Suivant les dates de semis, une même variété photopériodique aura un cycle variant de 90 à 160 jours. Le paysan a l'assurance que ses variétés arriveront à maturité à la fin de la saison des pluies, quelles que soient les contraintes qu'il aura subies lors des semis.

Les besoins en eau du sorgho sont inférieurs à ceux du maïs : aux Etats-Unis, pour des variétés proches sur le plan de la croissance, on estime que le maïs exige un supplément d'eau de 20 % par rapport au sorgho pour produire un kg de matière sèche. La supériorité du sorgho consiste en une meilleure aptitude à supporter les périodes de sécheresse, surtout en début de culture.

La consommation totale d'une culture pluviale de sorgho

Elle a été mesurée et évaluée aux alentours de :

- 400 mm pour une variété de 90 jours ;
- 550 à 600 mm pour une variété de 110-120 jours.

La sensibilité du sorgho à la sécheresse est maximale de la fin de la montaison au début de la floraison.

En Afrique, le sorgho est cultivé seul ou en association avec d'autres plantes comme le niébé dans des types de sols variés, généralement plus argileux que ceux réservés aux mils. Dans les régions sèches, il se comporte bien dans certains sols argileux de bas-fonds ou dans des terres alluviales. Certaines variétés peuvent supporter un excès d'humidité pour un temps limité. Enfin, le sorgho est plus tolérant aux sols acides et salés que le maïs.

● **La culture du sorgho**

● **Les grands systèmes de culture**

Le sorgho rentre essentiellement dans des systèmes de culture pluviale conduits soit manuellement, soit avec la traction animale, soit avec la traction motorisée, laquelle pourrait concerner environ dix millions d'hectares (soit environ 23 % des surfaces cultivées). À une plus petite échelle, il est aussi cultivé en condition irriguée dans des périmètres aménagés notamment dans les vallées fluviales africaines comme celle du Sénégal, du Niger ou du Nil.

En Afrique, il existe des systèmes traditionnels de culture originaux : la culture de décrue et la culture repiquée à base de variétés spécialisées, surtout de race durra. Toutes deux sont des cultures décalées par rapport à la saison des pluies. Elles utilisent les réserves en eau de sols argileux inondés au cours de l'hivernage. Quand l'eau se retire au début de la saison sèche, la culture est mise en place soit par semis direct (sorghos de décrue de la vallée du fleuve Sénégal) soit par repiquage de plantules préalablement préparées en pépinières : sorghos repiqués Muskuwaari ou Babouri du Cameroun et Berbéré du Tchad dans les vallées du Logone et du Chari où ils connaissent actuellement un grand succès.

● **Les itinéraires techniques**

● **La mise en place**

Compte tenu des contraintes économiques du système de fumure, on recommande en général de placer le sorgho après une culture de rente. La succession sorgho sur sorgho pose des problèmes sur les sols peu argileux. En effet, des toxines secrétées par les racines de sorgho en fin de cycle peuvent exercer un effet dépressif sur la culture suivante (le sorgho ou une autre espèce), surtout lorsque l'activité biologique des sols est faible comme c'est le cas dans les sols sableux. Ces toxines ont une durée de vie limitée et peuvent être évitées par un semis retardé.

Le semis est l'opération la plus délicate de la culture du sorgho car l'énergie germinative des graines est médiocre. Bien que pouvant être semé sans préparation du sol, notamment en zone tropicale, le sorgho profite d'un travail préalable du sol. Le semis doit être réalisé dans un sol bien humide mais sans excès d'eau, à une profondeur d'environ 2 cm avec des graines saines et récentes traitées par un mélange fongicide-insecticide. Traditionnellement, le sorgho est semé manuellement en poquets de 5 à 6 graines. En culture intensive, on utilise un semoir. Les densités de semis varient beaucoup selon les systèmes de culture :

Tableau 11. Densité de semis selon les systèmes de culture

Système de culture	Nombre de poquets à l'hectare	Nombre de plantes à l'hectare	Quantité de semence à l'hectare
Sorgho traditionnel repiqué de décrue	10 000		2 kg à la main
Sorgho traditionnel pluvial	25 000		4-5 kg à la main
Sorgho pluvial intensifié	30 000	90 000	6-8 kg à la main
Sorgho irrigué	100 000	300 000	10 kg avec semoir

● **L'entretien**

Le démariage est rarement effectué en culture traditionnelle, si ce n'est dans le but de faire des repiquages pour compenser les poquets manquants (dans ce cas, le repiquage doit être fait avec des plantules âgées de trois à quatre semaines). En culture intensifiée avec un semis en poquet, le démariage doit intervenir rapidement, une dizaine de jours après la levée et laisser trois pieds par poquet. On recommande de faire le premier sarclage au même moment. Par la suite, les sarclo-binages doivent être réalisés de façon à empêcher les mauvaises herbes de concurrencer le sorgho.

● **La fumure**

Pour produire 2 t/ha, on estime qu'il faut apporter, suivant les situations, 35 à 45 kg/ha de N. Cet azote est complètement valorisé par la plante uniquement si les quantités disponibles de phosphore assimilable par la plante sont suffisantes. Cela dépend de la richesse du sol en cet élément et des restitutions. Pour le même niveau, une fumure d'entretien correcte se situe entre 20 et 30 kg/ha de P_2O_5 . Le complément potassique dépend de la richesse du sol en cet élément et de la quantité de paille restituée sous quelque forme que ce soit : enfouissement direct, compost, fumier ou poudrette. Si l'engrais est cher ou peu disponible, le système de fumure doit être conçu en fonction du précédent cultural dans le cadre de la rotation. Ainsi, en zone cotonnière africaine, le sorgho qui succède au cotonnier profite des effets résiduels de la fumure PK.

La fumure minérale doit être étroitement associée à la fumure organique, sous forme de fumier ou de compost. L'engrais minéral de fond PK ou NPK doit être épandu de préférence à la volée avant les préparations du sol précédant le semis. S'il n'y a pas de travail du sol, il doit être épandu au semis. Un épandage complémentaire d'azote est à faire au début de la montaison.

● **La défense des cultures**

Les ravageurs du sorgho sont nombreux.

Tableau 12. Les ravageurs du sorgho en Afrique

Niveau de manifestation	Maladie fongique	Insecte ravageur	Autre
Plantules		lules, mouche du pied (<i>Atherigona soccata</i>)	
Racines			<i>Striga</i> sp. (plante parasite)
Feuilles et tiges	Maladies foliaires dont l'anthracnose (<i>Colletotrichum graminicola</i>) Pourriture des tiges (<i>Macrophomina phaseolina</i>)	Foreurs des tiges : <i>Busseola fusca</i> , <i>Eldana saccharina</i> , <i>Sesamia</i> sp., <i>Acigona ignefusalis</i> , <i>Chilo partellus</i>	
Panicule et grain	Charbons : Charbon couvert (<i>Sporisorium sorghi</i>), Charbon nu (<i>Spacelotheca cruenta</i>), Charbon de la panicule (<i>Sporisorium reilianae</i>), Charbon allongé (<i>Tolytosporium ehrenbergii</i>) Moississures de grains (<i>Fusarium</i> , <i>Curvularia</i> , <i>Alternaria</i>)	Cécidomyie (<i>Stenodiplosis sorghicola</i>) Punaises des panicules (<i>Eurystylus oldii</i>) Insectes des stocks	Oiseaux granivores Rongeurs

Les méthodes de lutte contre les insectes et les maladies fongiques font généralement appel à des techniques culturales (élimination des résidus de récolte, rotations, semis groupés) et à des variétés résistantes. L'utilisation de variétés photopériodiques permet de bien caler les cycles des variétés sur la fin de l'hivernage et de limiter les attaques de moisissures des grains auxquelles le sorgho est très sensible. Le recours aux variétés photopériodiques permet aussi de grouper les floraisons pour diluer les attaques des oiseaux et freiner la succession des cycles de multiplication des insectes ravageurs (cécidomyie et punaises notamment). Quant à la lutte chimique contre les maladies et insectes, elle se justifie seulement dans des systèmes de culture très intensifs.

Le *striga* (plusieurs espèces) est une plante parasite d'abord souterraine qui se fixe sur le sorgho à l'aide de suçoirs émis au niveau des racines. Il émerge du sol à la fin du stade végétatif des sorghos et fleurit à leur maturité en produisant de nombreuses et très petites graines. Le *striga* est très difficile à éliminer. On préconise l'arrachage des plantes avant leur floraison, l'utilisation de variétés de sorgho tolérantes ou résistantes, les rotations et les associations culturales. Des traitements herbicides, comme ceux à base de 2-4 D amine, donnent également de bons résultats.

Compte tenu de la médiocre énergie germinative des graines de sorgho, il est important d'assurer une protection chimique des semences par un mélange insecticide-fongicide approprié. À cette fin, il est possible d'utiliser, en Afrique de l'Ouest, un produit comme le Calthio DS® composé de lindane et de thirame (le thirame protégeant le sorgho contre le charbon couvert qui est transmissible par les graines). Un meilleur protocole de traitement est cependant une association du type suivant : traitement des semences à la récolte avec un insecticide comme le Percal M® (à base de perméthrine et de malathion) ou la K-othrine 2,5 PM® (à base de deltaméthrine) puis, juste avant le semis, enrobage des semences avec le Calthio DS®. Au moment du semis, des granulés à base de carbofuran (insecticide systémique) dans le poquet ou la ligne de semis

assure, en plus, une protection efficace des jeunes plantes contre les iules, la mouche du pied (*Atherigona soccata*) et les chenilles de foreurs des tiges.

Pour la conservation des stocks de sorgho, il est fortement recommandé d'utiliser des insecticides adaptés à la protection des denrées à usage alimentaire. De même, la lutte contre les rongeurs sur les lieux de stockage est recommandée soit par des appâtements spécifiques (anticoagulant) ou par une protection mécanique (bonne étanchéité des greniers ou magasins). Avant de décider d'un traitement phytosanitaire, on recommande de consulter le service national de la protection des végétaux pour s'assurer que le produit recommandé est bien homologué ou enregistré dans le pays.

● **La récolte et les rendements**

À maturité, soit trente à quarante jours après la floraison, lorsque le grain a pris sa couleur définitive, il est recommandé de récolter sans tarder et de préserver les panicules de l'humidité. On évite ainsi les attaques d'oiseaux et celles des moisissures auxquelles les graines de sorgho sont exposées si elles restent sur pied.

En Afrique, les rendements en grains moyens sont de 7-8 q/ha en culture traditionnelle, de 20 à 30 q/ha en culture pluviale intensifiée, d'une soixantaine de q/ha en culture très intensifiée.

● **Les temps de travaux**

Les temps présentés constituent une synthèse de données obtenues en culture pluviale et manuelle de sorgho en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Mali, Niger). Les données sont exprimées en jours/ha pour un travail fait par un exploitant travaillant à raison de huit heures par jour. En culture attelée, les données sont comptées en jours/ha pour un attelage travaillant six heures par jour. Dans les deux cas, la récolte est réalisée manuellement.

Tableau 13. Les temps de travaux selon les modes de culture (nombre de jours)

	Culture manuelle (8 h de travail par jour)	Culture attelée (2 bœufs; journée de 6 heures de travail)
Préparation du sol :		
Grattage	5	1
Labour		4
Hersage		1
Semis	4 à 5	1
Démariage et repiquage	10	
Sarclage	25	2
Epandage d'engrais		2
Buttage		2
Récolte	7 à 8	8 à 10

● **La récolte et les opérations post-récolte**

En culture traditionnelle tropicale, le sorgho est récolté à la fin de la saison des pluies sous forme de panicules à 15-20 % d'humidité. La paille restante est aussi de plus en plus souvent récoltée. Le séchage des panicules est conduit au champ ou à proximité des habitations. La conservation est généralement faite en grenier traditionnel sous

forme de panicules. Le battage est effectué au bâton, sur des aires aplanies et nettoyées, par couche de panicules de 10 à 15 cm d'épaisseur⁷. Pour des quantités plus modestes correspondant à des besoins journaliers, le travail est fait au mortier et au pilon. Le battage est suivi d'un vannage.

Différentes batteuses

Pour un battage mécanisé, on peut utiliser des machines à poste fixe entraînées par des moteurs thermiques. Ce sont des batteuses à céréales polyvalentes classiques, équipées de grilles de nettoyage adaptées aux grains de sorgho. Les modèles les plus répandus ont des débits compris entre 500 et 1 500 kg/h. Ce sont aussi des égreneuses qui sont conçues pour d'autres céréales mais qui conviennent au sorgho après des réglages appropriés : cas de la Bamba de Bourgoin en France pour le maïs ou de la BS 1000 de la SISMAR au Sénégal pour le mil. Avec un débit de près de 1 000 kg/h, la BS 1000 est plutôt destinée à des groupements villageois ou des entrepreneurs privés assurant de village en village des chantiers de battage. Avec un débit plus faible, la Bamba est plus adaptée aux communautés rurales.

● La production actuelle et les perspectives

● Les évolutions récentes

Les données présentées proviennent des statistiques FAO (2001). Elles considèrent les aires de production du sorgho par continent en y précisant, si nécessaire, les principaux producteurs rencontrés.

Tableau 14. La production de sorgho dans le monde

	Superficie (millions d'hectares)	Production (millions de tonnes)	Rendement (t/ha)
Afrique dont :	21,59	18,78	0,87
Nigeria	6,89	7,71	1,12
Soudan	4,20	2,49	0,59
Burkina Faso	1,23	1,02	0,83
Asie dont :	11,90	11,43	0,96
Inde	9,98	7,42	0,74
Chine	0,94	2,96	3,14
Amérique dont :	7,30	24,99	3,42
USA	3,55	13,61	3,83
Mexique	1,93	6,20	3,21
Argentine	0,61	2,90	4,74
Australie (Océanie)	0,60	1,42	2,39
Europe	0,18	0,73	3,95
Total	41,57	57,36	1,38

⁷ Comper 50 kg de grain obtenus par heure de battage pour un travailleur.

Entre 1979 et 2000, la production mondiale de sorgho a globalement diminué de 0,7% par an. Durant cette période, la production a augmenté en Afrique (3,5 % par an, essentiellement par extension des surfaces), mais elle a décliné dans la plupart des autres régions du monde, en Amérique du Sud et surtout aux Etats-Unis où le prix de soutien du sorgho, comparativement au coton et au maïs, a été réduit et où la mise au point de variétés de maïs plus tolérantes à la sécheresse a concurrencé le sorgho.

Aujourd'hui, la production mondiale de sorgho paraît globalement stabilisée. Les perspectives sont plutôt celles d'une augmentation qui viendrait des pays en développement :

- > en Afrique où la consommation s'accroît en suivant la croissance démographique ;
- > en Asie où l'augmentation des revenus devrait stimuler l'utilisation des sorghos pour l'alimentation animale ;
- > en Amérique latine et aux Caraïbes où l'industrie animale, déjà bien établie, devrait continuer à se développer.

Dans les pays industrialisés, la production de sorgho devrait peu augmenter. Il est cependant possible que les atouts économiques du sorgho, relativement peu exigeant en eau et en intrants, retournent progressivement en sa faveur la concurrence avec le maïs.

● **La filière et ses perspectives**

Dans les pays dont la production est surtout tournée vers l'alimentation humaine, la filière sorgho est à construire, encouragée par un pilotage par l'aval avec l'idée que les producteurs investiront plus facilement dans l'intensification de la culture s'ils ont la possibilité d'en tirer un revenu. À cette fin, il convient de diversifier les utilisations du sorgho non seulement pour l'alimentation humaine mais aussi pour l'alimentation animale. Les défis à surmonter pour les producteurs concernent le niveau des prix ainsi que la régularité et la qualité de l'approvisionnement.

Dans les pays industrialisés, la filière développe des utilisations autres que l'alimentation animale. Elle est toutefois confrontée à la concurrence du maïs qui bénéficie d'un soutien des prix et d'une politique des organismes stockeurs réticents à faire des distinctions de qualité dans les récoltes de sorgho. Aux Etats-Unis, la filière sorgho les y encourage pourtant. Une stratégie de marketing a ainsi été mise en place pour donner un autre nom au sorgho destiné à l'alimentation humaine, afin de mieux le distinguer de celui destiné à l'alimentation animale. Par ailleurs, économe en eau et en intrants, efficace dans la détoxification des sols riches en azote, le sorgho est une céréale écologiquement intéressante qui pourrait aussi profiter de l'inexistence actuelle sur le marché de variétés transgéniques. Il y a là des avantages que la filière sorgho doit pouvoir faire valoir dans un contexte de croissance des exigences de respect de l'environnement.

● **Les questions à la recherche**

Dorénavant la recherche sur le sorgho ne doit plus seulement viser l'augmentation de la production. Il lui faut aussi travailler à en diversifier les usages et mettre l'accent sur la qualité : qualité de l'agriculture qui produit le sorgho et qualité de la production pour satisfaire les consommateurs.

Ces objectifs généraux se déclinent de façon plus particulière dans les pays de culture traditionnelle du sorgho où la recherche doit fournir aux paysans des variétés intermédiaires entre leurs variétés locales et les variétés hautement productives qu'ils rejettent généralement. Ces variétés doivent en effet pouvoir rentrer dans un système plus intensifié sans perdre la rusticité et la qualité des grains des variétés paysannes. À cette fin, la recherche s'engage de plus en plus dans une valorisation du germoplasme local selon une démarche participative. En liaison avec les paysans, il s'agit de mieux valoriser la diversité du sorgho, encore riche de potentialités.

LES CÉRÉALES SECONDAIRES

● *L'éleusine*

Eleusine corocana (L.) Gaertner

Français : éleusine, mil rouge, korocan

Anglais : finger millet, african millet, korocan, indian millet

Espagnol : coracán, raji, mijo africano

Famille des Poaceae

● **La plante**

Originare d'Ouganda et d'Éthiopie, l'éleusine est une céréale cultivée pour ses graines en Afrique de l'Est et du Sud et en Inde. Elle constitue la base de l'alimentation humaine dans de nombreuses régions, et est utilisée pour la semoule, le pain, la bière et comme fourrage. Nourrissante, elle contient des acides aminés essentiels (méthionine).

C'est une plante annuelle touffue, aux nombreuses ramifications dans tous les sens, de 40 à 130 cm de haut et à feuilles étroites. Au sommet de la tige, l'épi forme un groupe de doigts de 3 à 13 cm de longueur. Le poids de mille graines est de 2,6 g. La fécondation se réalise par auto-pollinisation et les croisements entre lignées sont donc difficiles à réaliser.

L'éleusine est adaptée à de nombreux milieux mais résiste mal à la sécheresse. Elle tolère des précipitations modérées (500 mm à 1 000 mm annuels bien distribués) pendant la saison de croissance. Elle supporte des températures élevées (jusqu'à 35°C), mais ce sont les zones de montagnes ou de collines (moyenne des températures maximum de 27°C et moyenne des températures minimum de 18°C) qui lui conviennent particulièrement. C'est une plante de jours courts (optimum : douze heures d'ensoleillement par jour). Elle se développe dans tous les types de sols et tolère un excès d'eau ponctuel.

● **La culture**

En Asie, l'éleusine est semée en ligne. En Afrique, elle est semée à la volée. Ses graines de très petite taille exigent un lit de semence très fin et plat, ce qui demande beaucoup de travail. Le désherbage est également un problème important de la culture. Le cycle dure de deux mois et demi à six mois, ce qui permet de réaliser deux cultures par an.

La récolte est réalisée à la main. On coupe les épis en laissant un bout de tige qui permet d'en d'attacher plusieurs. On les empile en tas pendant quelques jours. Cela provoque une fermentation qui facilite ensuite le vannage. L'éleusine peut être stockée longtemps sans être attaquée par les insectes. La transformation en farine est difficile du fait de la taille de la graine.

La production annuelle mondiale est de 4,5 millions de tonnes de grains, dont 2 millions en Afrique. Les surfaces cultivées diminuent au Congo démocratique, au Burundi et au Rwanda en raison de la quantité de travail nécessaire pour désherber, récolter et vanner, alors que cette céréale était la plus diffusée dans ces zones. Les prix de l'éleusine augmentent du fait de la baisse de la production et elle devient une céréale de fête. Au Kenya, par exemple, le prix de l'éleusine est deux fois plus élevé que celui du sorgho ou du maïs. En revanche, au Népal, la surface cultivée en éleusine augmente de 8 % par an.

● Le fonio

Digitaria exilis

Anglais : hungry rice, fonio millet

Espagnol et portugais : digitaria

Famille des Poaceae

● La plante

C'est une céréale cultivée depuis très longtemps en Afrique, du Sénégal au Tchad, dans les zones de savane où elle peut constituer l'aliment principal. Le fonio est apprécié pour sa finesse et ses qualités gustatives et permet la fabrication de bière par fermentation. Sa paille constitue un bon fourrage pour le bétail. C'est une des céréales les plus nutritives : sa graine est riche en méthionine et cystéine, acides aminés essentiels absents de la plupart des autres céréales.

C'est une plante annuelle érigée, de 30 à 75 cm de haut, au tallage multiple et rampant qui ne facilite pas le sarclage. L'inflorescence est une panicule en forme de doigts qui porte deux à cinq grappes filiformes de 15 cm de long portant des graines minuscules, blanches, jaunes, fauves ou pourpres. On compte 1 600 à 2 500 grains par gramme. La floraison est insensible à la durée du jour. Il existe des variétés à cycle court (40 à 60 jours) ou à cycle long (165 à 180 jours).

Le fonio tolère des sols relativement pauvres, sableux, latéritiques. Il pousse là où rien d'autre ne pousse. Sa rapidité de maturation permet son développement dès qu'il y a un minimum de pluies (250 mm à 1 500 mm, généralement 400 mm). Les variétés précoces sont cultivées en conditions sèches et les variétés tardives en conditions humides. C'est une plante exigeante en lumière qui se développe correctement à des températures de 28°C à 30°C et peut être semée jusqu'à 1 500 m d'altitude (Fouta Djallon, Nigeria).

● La culture

Les graines sont semées à la volée après une bonne pluie et recouvertes par une fine couche de terre. Elles germent en trois à quatre jours et la croissance est ensuite rapide. Le taux de germination est élevé.

La graine perd sa capacité germinative après deux ans. Selon les conditions, la dose de semis varie de 2 à 3 kg de graines/ha à 10 à 20 kg de graines/ha. Du fait de la densité et de la rapidité de croissance de la plante, le fonio nécessite peu de désherbage. En conditions difficiles, il peut être repiqué. La surveillance de la culture au moment de la maturation des graines est indispensable afin de limiter les attaques d'oiseaux.

La plante est récoltée entièrement, coupée à sa base avec un objet tranchant, liée en gerbes, séchée et stockée sous couvert. Les épis sont battus ou foulés au pied et les glumes sont séparées des graines dans un mortier. Compte tenu de la taille de la graine, celle-ci est difficile à décortiquer et à vanner. On mélange les grains à du sable afin d'augmenter l'effet abrasif. Les graines sont lavées à plusieurs reprises et ensuite séchées au soleil. La conservation de la graine s'effectue sans problème.

Les rendements sont très faibles : 150 à 600 kg/ha. Chaque année, en Afrique de l'Ouest, 300 000 ha sont semés en fonio, ce qui fournit une base alimentaire pour trois à quatre millions de personnes. Le fonio redevient une céréale recherchée, son prix est le triple de celui du mil et le double de celui du riz.

● **Les larmes de job**

Coix lacryma jobi L.

Anglais : job's tear ou adlay

Famille des Poaceae

C'est une plante originaire de l'Asie du Sud mais actuellement présente dans toutes les zones tropicales, comme adventice ou comme plante cultivée. Elle est cultivée de façon extensive aux Philippines, en Indochine, en Thaïlande, en Birmanie et au Sri Lanka. Elle est utilisée comme céréale auxiliaire, spécialement comme substitut du riz. Elle était cultivée en Inde avant que le maïs ne la remplace. Sa fermentation donne de la bière et du vin.

C'est une plante annuelle dans les zones tempérées, pérenne dans les zones sans gel, de 1 à 2 m de hauteur, ramifiée, à limbes de 20 à 50 cm de long et 1 à 5 cm de large enlacés en forme de cœur, avec plusieurs épillets terminaux. La graine est blanche à bleutée ou noire, globuleuse, de 6 à 12 mm de long. Elle se multiplie par graines.

Elle tolère des sols pauvres ou latéritiques, à pH variant de 4,5 à 8,4, et des terrains en pente ou mal drainés. Elle est cultivée sous des pluviosités variant de 610 à 4 300 mm d'eau et des températures annuelles de 10 à 28°C. Son cycle est de 120 à 150 jours. Elle est semée à une profondeur de 2,5 cm dans des poquets espacés de 60 cm. Elle a besoin de pluies au moment du semis.

Au moment de la récolte les plantes sont coupées à la base et les graines sont séparées par battage. Les graines sont séchées au soleil. Le passage au moulin permet d'obtenir une farine qui peut être mélangée avec de la farine de blé pour faire du pain.

● **Le millet commun**

Panicum miliaceum L.

Français : millet commun, grand millet

Anglais : proso millet, common millet, indian millet

Espagnol : mijo común, mijo, mijo major, proso millo

Portugais : milho miúdo

Famille des *Poaceae*

Domestiqué en Asie centrale et orientale, le millet est souvent cultivé par les nomades du fait de son aptitude à mûrir rapidement. Actuellement cette céréale alimentaire est produite dans la Communauté des Etats indépendants, en Asie centrale.

C'est une plante annuelle au port dressé dont la hauteur varie généralement de 30 cm à 100 cm, mais peut dépasser 1,5 m. Les racines sont peu profondes. Cette plante robuste, à tiges fortes et à feuilles larges, est recouverte de longs poils et possède deux types d'inflorescence : des panicules fermées en balai et des panicules largement ouvertes. Les graines sont volumineuses (> 3 mm de longueur ; poids de 1000 graines compris entre 4,7 et 7,2 g).

Le millet est particulièrement adapté aux climats continentaux secs (plus tempérés que les autres mils) et préfère des sols humides et argilo-calcaires.

L'enveloppe de la graine, difficile à enlever, contient un taux élevé de fibres non digestibles et donne une impression de réplétion importante lorsqu'elle est consommée.

● **Le millet indigène**

Paspalum scrobiculatum L.

Anglais : kodo ou kodra millet

Famille des *Poaceae*

C'est une céréale mineure, cultivée de l'Inde (sauf sur le plateau du Deccan) à la Malaisie et au Pacifique. On la trouve également en Afrique. Elle a été diffusée dans le monde tropical où elle est parfois utilisée comme fourrage (très digestible, même après une longue conservation). C'est parfois une mauvaise herbe des plantes cultivées.

C'est une graminée annuelle en touffe, qui atteint 90 à 135 cm de hauteur, sans stolon, à tiges ascendantes et érigées, ramifiées parfois. Les feuilles sont glabres ou parfois poilues sur les bords. La graine est enfermée dans un involucre dur, corné, persistant et difficile à retirer.

En Malaisie, la plante produit des graines pendant trois à quatre mois. Elles tombent rapidement quand elles sont mûres. La propagation peut se faire par semis ou par transplantation des talles. La levée de dormance des graines récemment récoltées peut se faire de façon mécanique ou par scarification.

C'est une plante de zones humides découvertes, cultivée jusqu'à 1 200 mètres d'altitude. Elle tolère les inondations et résiste peu à la sécheresse. La température optimale de croissance est de 25 à 27°C. C'est une plante héliophile, qui peut se développer dans des sols peu fertiles s'il y a peu de compétition, mais elle préfère des sols fertiles.

Le lit de semence doit être préparé finement puis les graines sont généralement semées en rangées séparées de 1,3 m.

● **Le millet des oiseaux**

Setaria italica (L.) Beauv.

Français : millet des oiseaux, millet d'Italie, millet à grappe

Anglais : foxtail millet, german millet, italian millet

Espagnol : mijo minor, mijo de Italia, mijo de pájaros, panizo común

Portugais : milho painço

Famille des Poaceae

Originaire de l'est de l'Asie, le millet des oiseaux est cultivé en Asie (Chine, Japon, Inde), en Afrique sahélienne et dans les pays de l'ex-Union soviétique. C'est l'une des plus anciennes céréales cultivées pour l'alimentation humaine. Elle est également utilisée comme fourrage et pour l'alimentation des oiseaux.

C'est une graminée annuelle, effilée, érigée, feuillue, de 0,30 à 1,50 m de hauteur, à panicule dense en forme de pointe. Les graines sont contenues dans des enveloppes de couleur. Mille grains pèsent 2g. Son système racinaire est superficiel et le millet des oiseaux craint la sécheresse. Il est adapté aux sols peu fertiles et souvent cultivé dans des conditions difficiles : chaleurs intenses et faibles pluies. Son cycle est court et il mûrit rapidement pendant les mois d'été chauds.

C'est une céréale que l'on sème souvent pour profiter au mieux des dernières pluies ou quand il est trop tard pour semer une autre espèce. Il existe ainsi une variété de millet qui possède un cycle de 65 à 70 jours pour le foin et de 75 à 90 jours pour les graines. Celles-ci doivent être traitées au moment du semis pour éviter le mildiou et les taches sur les feuilles.

Le millet des oiseaux est considéré dans de nombreux pays comme une adventice des céréales.

● **Le panic**

Echinochloa crus-galli

Français : panic, pied de coq

Anglais : prickly grass, barnyard grass

Espagnol : pata de gallo, zacate de agua

Famille des Poaceae

Originaire du Japon, sa culture s'est diffusée dans les régions chaudes tempérées et tropicales (Inde, Chine et Afrique de l'Est). Le panic est utilisé également comme fourrage (il convient pour l'ensilage mais pas pour le foin). En Egypte, il est employé pour la régénération des sols alcalins ou salés. Cette espèce est considérée comme une adventice dans de nombreux pays.

C'est une herbe annuelle touffue, petite et souvent maigre, à tiges érigées décomposantes de 80 à 150 cm de hauteur. De nombreuses tiges se développent à la base. Les feuilles sont plates, glabres, longues de 30 à 50 cm et larges de 1 à 2 cm.

Les panicules sont vertes ou pourpres, de 8 à 30 cm de long et fortement feuillues. La plante se multiplie par graines.

La température optimale de germination est de 35°C (maximum à 40°C et minimum entre 5 et 10°C). Le panic tolère les sols basiques et la latérite (pH compris entre 5 et 8), la salinité, les mauvaises herbes et l'excès d'eau. Il pousse avec des précipitations annuelles comprises entre 300 et 2 500 mm et une température moyenne annuelle de 14 à 16°C. C'est une espèce adaptée à toutes les zones humides, une adventice commune des champs de riz ou du bord des routes.

C'est une culture à cycle court, qui produit une récolte en six semaines. Son tallage est très important.

● Le teff

Eragrostis tef (Zucc.) Trotter

Français : teff, mil éthiopien

Anglais : abyssinian love grass, teff grass

Espagnol : teff

Famille des *Poaceae*

En 1980 en Ethiopie, la moitié de la surface agricole était cultivée en teff. C'est une céréale consommée de façon quotidienne, sous forme de galettes. Elle peut également être cultivée comme fourrage (Afrique du Sud).

C'est une plante annuelle touffue, de 30 à 120 cm de haut, aux feuilles longues, effilées, étroites et lisses. Son système racinaire est superficiel. Les graines sont de petite taille (1 à 1,5 mm de long et 2 500 à 3 000 graines par gramme), de couleur variable (jaune, blanc laiteux, noir, rouge ou marron). Plus la couleur est sombre, plus les arômes de la graine sont nombreux. Elle ne contient pas de gluten.

C'est une céréale de climat à saison sèche longue, qui tolère le froid, et est cultivée en altitude (entre 1 800 et 2 100 m en Ethiopie). La plante est photosensible et fleurit en jours de douze heures.

C'est une culture à cycle court (quarante cinq à soixante jours) ou à cycle plus long (cent vingt à cent soixante jours), à maturité rapide. Elle est semée tardivement et récoltée en saison sèche. Elle peut être semée comme une culture de secours si les cultures principales (blé, sorgho, maïs) ne produisent pas. Le teff sert alors de culture de soudure, qui demande peu de soins et résiste aux maladies.

Le rendement varie de 300 kg à 3 000 kg/ha. La moyenne en Ethiopie est de l'ordre de 900 kg. La graine est facile à stocker et ne craint pas les attaques des insectes.

Le teff est produit presque exclusivement en Ethiopie : en 1996, 1,4 millions d'hectares ont produit 0,9 millions de tonnes de graines, soit environ le quart de la production céréalière du pays. Un début de production commerciale existe aux Etats-Unis et en Afrique du Sud. La population allergique au gluten augmente aux Etats-Unis, et le teff pourrait constituer une céréale de substitution.

Bibliographie

Maïs

AGPM. *Encyclopédie pratique du maïs*, 1981, AGPM, 178 p.

DE LÉON C. *Maladies du maïs. Guide d'identification au champ*, 1986, CIMMYT Mexico, 90 p.

INRA. *Physiologie du maïs*, 1984, INRA, 574 p.

SPRAGUE G.F. ET DUDLEY J.W. ed., *Corn and corn improvement*, 3^{ème} édition, 1988, John Wesley, 986p.

Riz

ARRAUDEAU M., 1998. *Le riz irrigué*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris. 2 volumes, 659 p.

AUBIN J-P. ET DAGALIER J-C, 1997. *Mécanisation de la riziculture*. Ministère français de la Coopération, CIRAD. CIRAD, Montpellier, France, 278 p.

JACQUOT M. ET COURTOIS B., 1986. *Le riz pluvial*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris.

Sorgho

CHANTEREAU J., NICOU R., 1991. *Le sorgho*. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 159 p.

DOGGETT H., 1988. *Sorghum*, 2nd ed. Longmann Scientific & Technical, Harlow, UK., 512 p.

Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine, FAO, Rome 1995.

Sorghum in Lost crop of Africa, volume 1, 1996. National Academy Press, Washington, D.C., USA : 127-213.

Céréales secondaires

CILSS, Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle
Programme AGRHYMET. *Les grandes cultures sahéliennes*. Tome XIV. *Reproduction du cours de M. Santens Patrice*, Niamey 1979, N°120. 4 p.

GRAIN DE SEL, bulletin trimestriel de l'inter-réseau, développement rural, N° 5, mars 1997. *Céréale oubliée, le fonio revient*, pp 10-11.

Lost crop of Africa, Tome 1 : Grains, 1996, National Academy Press, Washington D.C., USA.

PLANT RESOURCES OF SOUTH-EAST ASIA (PROSEA), *Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Majors commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables*. N° 1-4, 5(1), 6-8, CD Rom, Wageningen, 1997.

Quelques organismes de recherche

Riz

ADRAO : 01 B.P. 2551, Bouaké 01, Côte d'Ivoire. (www.cgiar.org/warda).

CIAT : Apartado Aéreo 6713, Recta Cali-Palmira, Cali, Colombia (www.ciat.cgiar.org).

CIRAD : Avenue du Val de Montferrand, 34398 Montpellier Cedex 5, France (www.cirad.fr).

IRRI : PO Box 3127, Makati City 1271, Philippines (www.cgiar.org/irri).

Sorgho

CIRAD, 34398, Montpellier Cedex 5, France.

ICRISAT, Patancheru 502 324, Andra Pradesh, Inde.

INTSORMIL, Managment Entity, University of Nebraska, 113 Biochemistry Hall, Lincoln, NE 68583-0748, USA.

ROCARS (Réseau Ouest et Centre Africain de recherche sur le sorgho), BP 320, Bamako, Mali.

Les autres amylocées

À partir des contributions de A. Caburet, V. Lebot (CIRAD),
J.P. Rfaillac (IRD), P. Vernier (CIRAD)

- > L'arbre à pain
- > Le canna comestible
- > L'igname
- > Le manioc
- > La maranta
- > La patate douce
- > La pomme de terre
- > Le sagoutier
- > Le taro et le macabo

L'ARBRE À PAIN

Artocarpus incisa (syn. : *Artocarpus altilis*)

Anglais : bread tree

Espagnol : arbor de pan

Portugais : fruta-pão

Famille des *Moraceae*

● Les utilisations de l'arbre à pain

Les fruits sont consommés cuits de différentes manières : frits, bouillis, au four, salés ou sucrés. Ils sont cueillis plus ou moins mûrs selon les préparations. Celles-ci sont très diverses : en Polynésie et Micronésie par exemple, on laisse traditionnellement fermenter les fruits après leur cuisson au four. Il existe différentes techniques de fermentation. Les graines grillées sont consommées dans certaines régions. Les feuilles peuvent servir de fourrage.

● La plante et son environnement

● L'origine et la répartition

Originaire de Polynésie, l'arbre à pain a été importé aux Antilles au XVIII^e siècle par les planteurs coloniaux afin de nourrir leurs esclaves. Il semblerait que deux grands types de variétés (avec et sans graine) aient été importés dès cette époque aux Antilles et en Amérique centrale. La répartition actuelle de cet arbre concerne l'ensemble des régions tropicales mais la Jamaïque semble être le seul pays exportateur (vers l'Europe et les Etats-Unis).

● La morphologie

L'arbre à pain peut atteindre 26 m de haut. C'est un arbre à croissance rapide. Ses feuilles, larges, découpées, vert brillant, sont portées par un long pétiole jaune.

Elles peuvent atteindre 90 cm de long et 50 cm de large. Les fleurs femelles produisent un fruit oblong, rond ou en forme de poire, chargé d'amidon. La fleur mâle, plus petite et de forme allongée, se situe à côté de la fleur femelle.

On distingue deux grands types de variétés :

- > *l'arbre à pain proprement dit*, dont les fleurs femelles se développent par parthénocarpié, et donnent un fruit sphérique chargé d'amidon (comestible) pesant 1,5 à 2 kg, dépourvu de graines ;
- > *le châtaignier tropical*, qui possède de grosses graines noires, que l'on peut cuire à la manière des châtaignes. Ses feuilles sont moins découpées et moins abondantes que celles de l'arbre à pain proprement dit. La surface des fruits est hérissée de petites pointes.

Il existe une très grande variabilité génétique, renforcée par une grande variété phénotypique liée aux facteurs environnementaux. À Saint Vincent, vingt-cinq types d'arbres différents ont été identifiés. Un inventaire partiel des cultivars d'arbres à pain du nord du Vanuatu a recensé cent trente deux noms de cultivars. Aux îles Fidji, on a répertorié soixante dix noms de variétés. Les caractères morphologiques des feuilles et des fruits diffèrent selon les variétés, ainsi que la taille de l'arbre, les qualités gustatives du fruit, son aptitude à la conservation....

Le fruit immature est dur, blanc à l'intérieur, tournant au blanc crème à maturité. La peau des fruits est verte à l'origine, puis tourne au jaune, au brun ou au violet à maturité. Un indicateur de maturité est l'apparition de gouttes de latex sur le fruit.

Les graines, de 2 cm environ, sont ovales, arrondies d'un côté et pointues de l'autre. Elles sont plus riches en protéines que la fibre des fruits.

L'arbre à pain demande un climat équatorial ou tropical humide pour un développement optimal. Néanmoins, il supporte 1 000 à 1 500 mm de pluies annuelles aux îles Marquises. Les conditions de développement sont optimales à une température de 15 à 38°C, avec une pluviométrie de 2 000 à 2 500 mm annuels, et une humidité relative de 70 à 80 %.

La très grande diversité génétique se traduit par une résistance à la sécheresse et à la salinité très variable. Dans certaines îles du Pacifique, l'arbre à pain se développe très bien sur des sols coralliens sableux et résiste aux embruns. En Nouvelle Guinée, l'arbre à pain s'accommode de sols marécageux et pousse en zones inondables.

● **La culture**

● **La plantation et l'entretien**

Le châtaignier tropical se multiplie à partir des graines fraîchement récoltées.

L'arbre à pain véritable (sans graine) se multiplie par marcottage à partir des racines (existence de marcottes naturelles). Il est possible de procéder également par bouturage à partir des racines. Les extrémités des boutures peuvent être trempées dans une solution de permanganate de potassium pour coaguler le latex. Les boutures sont plantées horizontalement dans du sable, puis doivent être arrosées quotidiennement et protégées du soleil. L'enracinement des boutures peut prendre deux à cinq mois. Dès que les racines sont bien développées, il est possible d'exposer les plants au soleil.

Les plants sont alors transplantés dans des pots ou sacs en plastique et arrosés une ou deux fois par jour jusqu'à ce qu'ils atteignent 60 cm de haut. Ils peuvent alors être plantés en pleine terre.

La plantation se fait dans des trous de 90 cm de large et 40 cm de profondeur, enrichis en matière organique ; un apport d'insecticide dans le sol est recommandé à la plantation. La densité conseillée est de 84 arbres/ha (écartements de 7,5 m sur ligne, 12 m entre les lignes).

Les arbres issus de marcottes de racines produisent au bout de trois ans alors que les arbres issus de boutures de racines ne produisent qu'au bout de cinq ans. Un arbre peut rester productif pendant cinquante ans.

Une fertilisation standard NPK peut être appliquée sur les jeunes arbres jusqu'à ce qu'ils soient productifs ; il est alors recommandé de fournir un supplément de phosphate pour augmenter la taille et la qualité des fruits.

La production de fruits est plus ou moins continue sur l'année, mais il y a généralement une ou deux, voire trois périodes où celle-ci est plus importante.

● Les maladies et les ennemis

Selon Messiaen, l'arbre à pain est pratiquement indemne de maladies. Il peut être parasité par des cochenilles.

Cependant, à Trinidad, de jeunes arbres ont été décimés par *Rosellinia sp.* ; dans les îles du Pacifique, un fusarium est à l'origine de la mortalité de plants, et un *pythium* semble à l'origine d'une pourriture des racines. Une pourriture atteint parfois les fruits (*phytophthora*) : elle a été observée aux îles Caroline (Pacifique). Une maladie, appelée *Pingalap disease*, a détruit des milliers d'arbres de 1957 à 1960 dans les îles du Pacifique. Sa cause est restée inconnue.

● La production et la conservation des fruits¹

La productivité des arbres dépend beaucoup de la pluviométrie. Selon Messiaen, un arbre peut produire 300 à 600 kg de fruits chaque année (25 t/ha) ; des études menées à la Barbade font état de rendements annuels de 16 à 32 tonnes. À Saint Vincent, un arbre peut produire 400 fruits/an au moment du pic de production. Dans le sud de l'Inde, la production moyenne est de 150 à 200 fruits par an (soit 300 à 400 kg/arbre/an). Dans le Pacifique Sud, la production moyenne annuelle est de 50 à 150 fruits par arbre.

Les fruits cueillis mûrs peuvent être conservés dans un film de polyéthylène dix jours à 12°C ; des fruits cueillis légèrement verts peuvent être conservés quinze jours dans ces conditions. Une température inférieure provoque l'apparition de lésions dues au froid. Une méthode traditionnelle de conservation est de laisser les fruits dans de l'eau. Des laboratoires ont mis au point des techniques de déshydratation afin de les commercialiser.

¹ Cf. chapitre 437.

LE CANNA COMESTIBLE

Canna edulis Ker.-Gawl. - Syn. : *Canna indica*. l.

Français : canna comestible, toloman

Anglais : queensland arrowroot, purple arrowroot, edible canna

Espagnol : achira

Famille des Cannaceae

C'est une plante herbacée pérenne cultivée pour son rhizome qui contient 24 % d'amidon.

Elle est originaire d'Amérique du Sud (cordillère des Andes), où elle est cultivée depuis des temps immémoriaux. Elle se trouve maintenant sur tous les continents. Elle est très répandue en Amérique centrale et aux Antilles, en culture de case. En Australie et en Inde ; elle fait l'objet de plantations. Les rhizomes peuvent être utilisés comme aliment pour les animaux (Afrique de l'Est).

L'amidon de *C. edulis* est recherché en Colombie car il a des propriétés fonctionnelles intéressantes (confection de biscuits), mais il est difficile à extraire.

Il existe plus de cinquante espèces de *Canna* ; la plupart sont utilisées comme plantes d'ornement. *C. edulis* est une plante pouvant atteindre 150 à 250 cm, portant des feuilles larges (50 cm sur 15 cm), lancéolées et des fleurs orange rouge. Cette plante supporte des températures assez fraîches (7°C la nuit) et pousse en dehors des zones tropicales.

La plantation s'effectue à partir de fragments de rhizome portant un ou deux yeux, avec des écartements de 90 à 120 cm entre les plants. Les rendements sont de l'ordre de 25 à 37 t/ha au Queensland (Australie) et de 50 t/ha au Kenya.

L'IGNAME

Genre : *Dioscorea*

Anglais : yam

Espagnol : ñame

Portugais : inhame/carà (Brésil)

● Les utilisations de l'igname

L'igname est une culture alimentaire tropicale importante. Ses tubercules riches en amidon constituent un aliment de base dans de nombreuses régions. Dans leurs zones d'origine, les ignames ont souvent une forte valeur culturelle et sont l'objet de rites agraires.

Les tubercules de certaines espèces sont utilisés dans les pharmacopées traditionnelles et par l'industrie pharmaceutique, comme source de cortisone et de progestérone.

● La plante et son environnement

● La plante

Les ignames appartiennent au genre *Dioscorea* (*Dioscoreaceae*) qui comprend plus de six cents espèces, dont une dizaine sont cultivées comme plantes alimentaires.

Tableau 1. Principales espèces cultivées d'ignames

Espèce	Origine	Caractéristiques principales
<i>D. cayenensis-rotundata</i> (yellow & white guinea yam) : complexe spécifique	Afrique de l'Ouest	Tige ronde épineuse, feuille large cordée. On distingue : <i>D. rotundata</i> , à chair blanche et cycle court (8 mois) (95% du total), et <i>D. cayenensis</i> , chair jaune et cycle long (12 mois)
<i>D. alata</i> (water or greater yam)	Asie du Sud-Est	Tige quadrangulaire, ailée, feuille simple, tubercule de forme variée, chair blanche à anthocyanée, parfois bulbille
<i>D. dumetorum</i> (bitter yam)	Afrique	Tige forte et épineuse L, feuille cordée et trifoliée, tubercules nombreux, globuleux, souvent fusionnés, chair blanche ou jaune, durcissement rapide après récolte. Forme sauvage toxique
<i>D. trifida</i> (cush-cush)	Amazonie	Tige quadrangulaire L, feuille de 3 à 5 lobes. Tubercules petits et nombreux
<i>D. bulbifera</i> (aerial yam)	Asie du Sud-Est, Afrique	Tige ronde L, grande feuille simple, bulbilles nombreux, petits à gros (jusqu'à 1 kg), comestibles chez les cultivées. Tubercules petits, globuleux et spongieux
<i>D. esculenta</i> (lesser yam)	Asie du Sud-Est	Tige ronde épineuse L, feuille simple, nombreux petits tubercules stolonisés en grappe. Chair blanche à jaune, parfois irritante crue
<i>D. opposita</i> (chinese yam)	Chine	Tige ronde lisse, feuille cordiforme alterne à la base, puis opposées. Tubercules lisses, longs (1 à 1,5 m) en massue. Seule espèce tempérée cultivée
<i>D. nummularia</i>	Asie du Sud-Est	Tige très épineuse à la base, feuille simple, tubercules fusiformes souvent très profonds, récoltés parfois à 2 ou 3 ans. Cultivée dans le Pacifique, de la Papouasie aux îles Samoa
<i>D. transversa</i> (waël)	Océanie	Tige ronde à cannelée, feuille cordiforme brillante, tubercules (2 à 8) petits (10 – 12 cm) en poire. Récolte très échelonnée (désaisonnable). Surtout cultivée en Nouvelle-Calédonie

L : espèce s'enroulant à gauche (lévogyre).

Deux espèces représentent plus de 95 % de la production mondiale :

- > *D. alata* : originaire d'Asie du Sud-Est, aujourd'hui largement diffusée dans toute la zone intertropicale ;
- > *D. cayenensis-rotundata* (Dcr) : complexe spécifique qui regroupe, faute de barrière génétique, *D. cayenensis* (igname jaune) et *D. rotundata* (igname blanche), en un même complexe spécifique. Ces ignames africaines sont originaires des pays du golfe de Guinée.

Les ignames sont cultivées dans pratiquement toute la zone intertropicale humide, hors zone d'altitude. Les principales aires de production se situent en Afrique de l'Ouest (*yam belt* du Nigeria à la Côte d'Ivoire : 91 % de la production mondiale). Le centre et l'est du continent possèdent également une production significative. L'Asie du Sud-Est (y compris l'Inde), les îles du Pacifique et l'Amérique intertropicale produisent surtout *D. alata*.

L'igname est une plante herbacée annuelle à tige volubile. La plante produit un à plusieurs tubercules de 2 à 5 kg, pouvant atteindre 15 kg. La multiplication se fait par voie végétative à partir de tubercules entiers ou fragmentés. Certaines espèces se multiplient aussi par bulbilles (*D. bulbifera*).

Les ignames sont dioïques (se xes séparés). La floraison est abondante chez les formes sauvages, réduite chez les cultivées. Certains cultivars fleurissent, assez fréquemment chez *Dcr*, plus rarement chez *D. alata*.

La voie sexuée est utilisée par la recherche pour la création de variétés nouvelles, impossible par voie végétative. La génétique complexe et encore mal connue des ignames (polyploïdie ; mauvaises synchronisation des floraisons mâle et femelle) n'a pas encore permis une diffusion significative de variétés améliorées.

La diversité des ignames cultivées est importante mais encore mal caractérisée. En Afrique de l'Ouest, les récents travaux de génétique, utilisant les marqueurs moléculaires, distingue une trentaine de groupes variétaux chez *Dcr*.

Tableau 2. Exemples de groupes variétaux d'ignames en Afrique de l'Ouest

Principaux groupes variétaux au Bénin	Correspondance en Côte d'Ivoire	Type	
Agogo		P	
Alakissa	Yaobadou	T	Tubercule jaune (type <i>D. cayenensis</i>)
Ahimon		P	
Bani Ouré		T	Tige plate en faisceau sur le 1er mètre
Douba Yessirou		P	
Gnalabo	Krenglé	T	
Gnidou		P	
Kokoro	Kroukroupa	T	Fabrication de cossettes
Kpanhoura		T	
Kpouna-Laboko	Kponan	P	Standard de qualité pour l'igname pilé
Kratchi		P	
Mondji ou Ala N'kojéhoué	Sopéré	P	
Morokorou	Cocoassié	P	
Soussou		P	
Tabané	Gnan	T	
Tam-sam		T	Appareil aérien nain
Tognibo		P	

D'après Dansi et al., 1999.

Type : P = précoce (2 récoltes), T = tardif (1 récolte).

En Afrique de l'Ouest, la domestication des espèces sauvages (*D. abyssinica* et *D. prae-hensis*) se poursuit et enrichit la diversité des *Dcr*, qui décroît du Bénin (et Nigeria) vers l'Ouest jusqu'en Guinée. Le Cameroun possède certains groupes originaux.

Le seul exemple de matériel diffusé à grande échelle par la recherche est Florido (*D. alata*), sélection clonale faite à Porto-Rico. Introduite en 1975 en Côte d'Ivoire, elle est maintenant largement adoptée et diffusée dans la sous-région.

● L'écologie de l'igname

Plante lianescente originaire de forêt tropicale, l'igname *Dcr* est principalement cultivée en zone de savane et demande des sols légers et bien drainés. Sur sols hydromorphes, elle doit être plantée sur butte de grande taille (un mètre ou plus). Elle est exigeante en eau et en chaleur. La pluviométrie minimale est de 1 000 mm/an avec un optimum de 1 500 mm.

Les ignames sont sensibles au photopériodisme, les jours croissants favorisent le développement aérien, et les jours déclinants celui des tubercules. Pour obtenir des rendements élevés, il est important que le développement végétatif et donc l'activité photosynthétique commence le plus précocement possible avant le solstice d'été. Dans certaines zones de savane, la culture en bas-fond sur grande butte est une réponse à cette exigence.

Les *Dcr* précoces (à deux récoltes) sont exigeantes en fertilité (K surtout) et en matière organique. Les *Dcr* tardives et les *D. alata* sont plus rustiques.

● La culture

● Les grands systèmes de culture

La culture de l'igname reste largement manuelle, sur défriche brûlis, le plus souvent sur butte en Afrique. La préparation du sol a généralement lieu en fin de saison des pluies précédant la culture. La plantation s'effectue en saison sèche (décembre à février) pour les *Dcr* précoces, jusqu'en juin pour les variétés tardives. Si l'espace agricole est suffisant, l'igname ne revient que tous les vingt ans sur la même parcelle. Ce système qui garantit les meilleures conditions aux variétés d'ignames les plus exigeantes mais aussi les plus recherchées, est destructeur de l'environnement. Il se trouve de plus en plus limité par la diminution des zones boisées, provoquée par la pression démographique ou par la concentration de la production commerciale près des axes routiers.

Le raccourcissement des jachères compromet la reproductibilité de tels systèmes. Les agriculteurs s'y adaptent par le changement de matériel végétal, là où il est disponible. Ainsi en Côte d'Ivoire la culture de *D. alata*, au Bénin et au Nigeria de l'Ouest celle de *Dcr* tardives (exemple kokoro) permettent une certaine sédentarisation de la culture de l'igname.

L'intensification des techniques culturales reste limitée en Afrique, en dehors du labour en culture attelée avant buttage. L'utilisation d'intrants et la motorisation restent rares, en dehors des zones restreintes orientées vers l'exportation (Caraïbes, Brésil) ou à coûts salariaux élevés (DOM-TOM, pays développés).

En culture traditionnelle (savanes africaines, jardins mélanésien ou créoles), les champs d'ignames comprennent de nombreuses espèces et variétés, souvent plantées en association, plus ou moins diversifiée et lâche, avec le manioc, le maïs, les aroïdées ou les cucurbitacées.

● L'itinéraire technique

● La mise en place de la culture

La plantation peut se faire avant la levée de la dormance en saison sèche. Elle permet un démarrage de la croissance dès les premières pluies. Elle suppose une préparation des buttes en fin de saison pluvieuse précédente et une protection des buttes contre un trop fort échauffement à l'aide de *chapeaux de paille*. Cette solution est recommandée pour les ignames précoces.

Une mise en place après la levée de dormance est également possible. Elle suppose un égermage préalable qui retarde la levée mais permet une préparation du sol tardive (jusqu'en juin). Ce mode de plantation, très pénalisant pour les variétés à deux récoltes, est à réserver aux variétés à récolte unique.

La production de gros tubercules (plus de 5 kg) demande une densité de plantation faible (3 à 4 000 buttes/ha) et de grosses buttes (jusqu'à un mètre de haut). Celle de tubercules moyens (1 à 2 kg), plus recherchés en production commerciale, est obtenue avec des densités plus fortes (6 000 à 15 000 plants/ha) et des buttes plus petites (35 à 50 cm).

En culture mécanisée, la plantation se fait sur billon : 10 000 plants/ha correspondent à un inter billon de 1,5 m et 0,6 à 0,7 m entre les plants.

● Le choix des semences

Tout morceau de tubercule comportant une partie d'épiderme est susceptible de germer. En pratique, on utilise de petits tubercules entiers ou des morceaux de tubercules plus gros, d'un poids de 200 à 500 g, parfois jusqu'à un kilo. Les tubercules entiers ont une vigueur et une précocité supérieures à celle des fragments.

Les tubercules coupés sont cicatrisés avec de la cendre de bois, additionnée éventuellement de fongicides. Aux Antilles, on recommande un trempage des semenceaux dans une solution de benomyl (30 - 60 g/100 litres d'eau) pendant un quart d'heure, suivi d'un séchage à l'ombre pendant une ou deux journées.

La technique des mini fragments, mise au point au Nigeria par le NRCRI, permet une multiplication rapide des semences. Des fragments de tubercules (25 à 50 g) sont mis à germer en pépinière puis repiqués sur planche (six à huit au m²). On obtient des tubercules de 100 à 300 g qui serviront de semenceaux l'année suivante. Cette technique, délicate, nécessite de disposer d'arrosage. Elle est réservée aux multiplicateurs de semences disposant des moyens adéquats.

● L'entretien

La sensibilité de l'igname aux adventices est maximale entre un et trois mois après la levée. En culture continue, trois à quatre sarclages peuvent être nécessaires.

Le désherbage chimique permet une maîtrise satisfaisante des mauvaises herbes pendant les quatre à cinq premiers mois en zone de pluviosité moyenne (savane de Côte d'Ivoire) et pendant trois mois en zone forestière.

Les herbicides

Ils sont applicables en prélevée de la culture sur sol propre. Les chiffres correspondent à des g/ha de matière active :

- metribuzine + diuron : 1 000 + 800 ;
- atrazine + pendimethaline : 1 000 + 1 250 (sélectif du maïs).

● Le tuteurage

L'avantage économique du tuteurage, opération exigeante en travail, est variable. Sans tuteur, le rendement peut chuter de 0 à 50 % selon les variétés ; les moins sensibles sont celles qui produisent plusieurs tiges par pied. Son intérêt décroît avec l'augmentation de la radiation solaire².

● La fumure

Les ignames sont exigeantes en fertilité et en matière organique. En culture stabilisée, un apport d'engrais est à prévoir.

Tableau 3. Exportation d'éléments minéraux par tonne de tubercules frais d'ignames

Éléments minéraux	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Kg exportés par tonne de tubercules frais (ordre de grandeur)	4	0,4	4,4	0,1	0,2

Aux Antilles, on recommande un apport de 60-30-60 unités/ha à la plantation sur les variétés précoces, de 100-60-150 unités/ha sur les tardives, complété par 70 N deux mois plus tard.

L'influence négative sur la qualité organoleptique de l'igname pilée, souvent reprochée à la fertilisation chimique en Afrique, n'est pas générale. Elle peut apparaître en cas de fumure excédentaire en azote.

● La défense des cultures

Les *Dcr* sont surtout sensibles aux nématodes qui provoquent des déformations (galles) ou des pourritures (*Scutellonema*) et aux viroses (mosaïque). Les maladies cryptogamiques peuvent faire des ravages chez *D. alata* (anthracnose), de même que les viroses chez *D. trifida*.

Les insectes peuvent s'attaquer aux feuilles (*Crioceris*) et aux tubercules (*Hétéroligus*).

Les tubercules stockés sont attaqués par les pyrales et les cochenilles farineuses ou encroûtantes, ainsi que par différentes pourritures sèches (bactéries) ou humides (*Fusarium*, *Botryodiplodia*).

² Pas d'augmentation significative du rendement avec tuteur au Nigeria au nord de 8°30'.

Tableau 4. Principaux ravageurs de l'igname

Symptômes	Agent causal	Lutte
Sur feuille		
Destruction	Insectes: larve de <i>Crioceris livida</i> (coléoptère) <i>Lema armata</i>	Insecticides si dégâts importants
Mosaïque, chlorose, déformation Déformation foliaire	Virus (transmission par aphides)	Insecticides, sélection de semences sur plants sains
Nécrose, noircissement, dessèchement des feuilles et tiges (sévère sur <i>D. alata</i>)	Champignons pathogènes Anthracnose (complexe fongique) <i>Cercospora</i> , <i>Rhizoctonia</i>	Variétés résistantes, fongicides : feuillage et semences
Sur tubercule avant récolte		
Lésions à galles	Nématodes : <i>Meloidogyne spp.</i>	Sélection de semence saine Rotation de culture Thermothérapie Nématicide
Lésions en fente Pourriture	Nématodes : <i>Scutellonema spp.</i> Nématodes : <i>Pratylenchus spp.</i>	
Trouaison	<i>Heteroligus spp.</i> (coléoptère)	
Sur tubercule au stockage		
Galerées, perte de poids	Larves de pyrale(lépidoptère) <i>Euzopherodes vapiella</i> <i>Ephestia cautella</i>	Pyréthroïdes (trempage)
Présence de cochenille farineuse, mobile	<i>Planococcus spp.</i> , <i>Geococcus coffeae</i>	Fumigation des stocks, Traitement insecticide des semences
Présence de cochenille encroûtante immobile, dessèchement, faible germination	<i>Aspidiella hastii</i> <i>Aspidiotus spp.</i>	
Suintement, pourriture humide	Bactérie : <i>Erwinia spp.</i>	Lutte contre l'humidité Tri des tubercules pourris <i>Curing</i> (cicatrisation)
Pourriture sèche et molle	Champignons pathogènes: genres <i>Botryodiplodia</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i>	Eviter blessures et dégâts d'insectes Tri <i>Curing</i>

● Les temps de travaux

Tableaux 5. Temps de travaux, plantation sur défriche en Afrique (jour/ha)

Préparation du sol	60-90
Plantation	20-30
Tuteurage	40-60
Entretien	40-80
Récolte-triage	40-70
Total	200-330

Tableau 6. Ordre de grandeur des temps de travaux en culture motorisée de l'igname

Opération	Heure/ha	Observations
Préparation du sol	20-25	Nettoyage, labour, affinage
Billonnage	2-4	
Plantation semi-mécanisée	5-6	2-3 ouvriers
Tuteurage artificiel	50-80	Palissage
Herbicide	15	2 pulvérisations
Soulevage mécanique	150-200	Rendement : 30 t/ha
Ramassage manuel		
Chargeuse 8 ouvriers	100	2,5 t/heure

● La récolte et la post-récolte

On distingue deux modes de gestion de la culture :

- > la conduite en double récolte, qui concerne uniquement les *Dcr* précoces, récoltées avec précaution une première fois après cinq ou six mois de végétation, sans détruire la plante qui donne une seconde repousse quatre ou cinq mois plus tard. Les tubercules de la première récolte, immatures, se conservent mal mais sont très appréciés. La seconde récolte est surtout destinée à la replantation ;
- > la récolte unique, qui se pratique à maturité physiologique après sénescence de l'appareil aérien. Chez certaines variétés, les tubercules peuvent se conserver jusqu'à six mois. Une partie de la récolte, jusqu'à un tiers chez certaines *Dcr* à tubercule unique, sert à la replantation.

La récolte unique peut être mécanisée. En culture intensive sur billons, des souleveuses sont utilisables avec les variétés à tubercule court (40 cm). Il existe aux Antilles des prototypes de récolteuse-chargeuse, dérivés du matériel à pomme de terre.

L'igname est essentiellement commercialisée en tubercules frais, consommés, selon les variétés, bouillis, braisés ou pilés (foutou).

La transformation en cossettes, obtenues à la ferme en saison sèche par une précuisson et un séchage naturel de tubercules épluchés, est importante dans l'Ouest du Nigeria et au Bénin. Les cossettes constituent un produit stable (10-12 % d'humidité), de longue conservation s'il est protégé contre les charançons, et de prix abordable. La consommation, après réduction en farine, se fait sous forme de pâte (amala) ou de couscous (wassa-wassa).

● La production actuelle et les perspectives

La production mondiale d'ignames est estimée à 36 millions de tonnes par an (moyenne 1997-1999, FAO), dont 91 % en Afrique de l'Ouest. Le Nigeria représente à lui seul 70 % du total. La production mondiale était de 8,3 millions de tonnes en 1961 (7,6 en Afrique de l'Ouest), soit sur quarante ans une croissance annuelle de 3,8 % (et de 4 % en Afrique de l'Ouest). Cette augmentation, supérieure à l'accroissement démographique, s'est faite principalement par extension des surfaces. Le rendement moyen mondial est estimé à 9,6 t/ha en 1999 (9,9 en Afrique de l'Ouest).

Le commerce de l'igname reste surtout informel. En Afrique, les échanges limitrophes sont effectués à partir des pays côtiers producteurs.

Les échanges internationaux restent faibles et concernent les marchés ethniques d'Europe de l'ouest, d'Amérique du nord et d'Océanie. Les principaux exportateurs sont le Ghana, le Brésil, la Caraïbe, Fidji et Tonga.

Depuis quarante ans, la production et la consommation d'igname en Afrique s'est maintenue et même développée hors de sa zone traditionnelle (métropoles sahé-liennes, Afrique centrale). Mais l'avenir de la filière reste handicapé par le coût du produit final pour le consommateur urbain.

● **Les questions à la recherche**

Les structures de recherche

Organismes internationaux

CIRAD, Montpellier, France

IITA, Ibadan, Nigéria

INRA, Centre des Antilles- Guadeloupe

IRD, Montpellier, France

Les systèmes nationaux

Côte d'ivoire : Centre national agronomique, Bouaké

Inde : Central Tubercrops Research Institute, Trivandrum

Nigeria : National Root Crops Research Institute, Umudike

Puerto Rico : Tropical Agricultural Research Station, Mayaguez

● **La sédentarisation de la culture à faible niveau d'intrants**

En Afrique, principale région productrice, c'est le défi fondamental. La culture actuelle, très liée à la pratique itinérante sur défriche-brûlis, se heurte de plus en plus aux contraintes foncières.

Cette sédentarisation passe par une meilleure connaissance et utilisation des ressources génétiques existantes, la création de variétés adaptées de haute qualité organoleptique, et l'adaptation de la culture de l'igname aux techniques de l'agriculture durable.

● **La diversification des produits transformés**

Produit saisonnier et périssable, l'igname frais n'est pas toujours accessible pour le consommateur urbain. Les produits transformés, stabilisés, plus adaptés au mode de vie urbain et plus abordables sont encore peu diversifiés et peu diffusés.

LE MANIOC

Manihot esculenta Crantz

Français : manioc (ou cassave : Antilles, Guyane)

Anglais : cassava (ou tapioca)

Espagnol : yuca,

Portugais : mandioca

Famille : Euphorbiaceae – genre : *Manihot*

● Les utilisations du manioc

Le manioc est cultivé pour ses racines qui tubérisent au cours d'un cycle de six à plus de trente-six mois selon les variétés et le milieu.

Il est produit en majorité par des petites unités de production avec de faibles moyens techniques, surtout pour l'alimentation humaine. La totalité de la plante est parfois utilisée : le bois comme combustible, les feuilles et les épluchures pour l'alimentation animale. Dans certaines régions (Afrique, Amérique latine), les extrémités avec les jeunes feuilles sont cueillies en cours de végétation pour être consommées.

Tableau 7. Les principaux produits issus du manioc

Noms des produits	Caractéristiques	Lieux de production	Utilisation
Manioc	frais, épluché	Afrique et Amérique	alimentation humaine
Gari	produit sec (conservation plusieurs mois)	Afrique de l'Ouest	
Attiéké	produit humide (conservation quelques jours)	Côte d'Ivoire	
Chikwangué, myondo, mangbele	produit humide (conservation quelques jours)	Afrique centrale	
Foufou*	bouillie cuite, fermentée ou non, consommation immédiate	Afrique de l'Ouest	
Foufou*	pâte à consommation immédiate	Afrique de l'Ouest	
Foufou*	produit sec (conservation plusieurs mois)	Afrique centrale	
Farinha de mandioca	produit sec (conservation plusieurs mois)	Brésil	
Kokonte	produit sec (conservation plusieurs mois)	Ghana	
Cassave	produit humide (conservation quelques jours)	Caraïbes	
Lafun / makopa	farine de manioc fermenté, conservation plusieurs mois	Nigéria, Tanzanie	
Tapioca	grains secs, longue conservation	Tous pays	
Cossettes / granulés	produits secs, longue conservation	Tous pays	alimentation humaine et animale
Feuilles (jeunes pousses)	fraîches ou en poudre	Afrique, Brésil (poudre)	
Fécule et amidon	produits secs, longue conservation	Tous pays	industrie (colles, éthanol, etc.) et aliments

* le terme foufou (ou fufu, foofoo...) est employé pour des produits de différentes natures (humide ou sec) selon le pays en Afrique de l'Ouest et du Centre.

● La plante et son environnement

● La plante

● L'origine et la diffusion

Le manioc est une espèce tropicale originaire d'Amérique. Il a son centre principal de diversification au Brésil. L'origine de l'espèce cultivée *M. esculenta* proviendrait soit d'hybridations successives entre plusieurs espèces sauvages, soit de deux sous-espèces : *Manihot esculenta* subsp. *Flabellifolia* et *M. esculenta* subsp. *Peruviana*. Il reste probable que d'autres espèces telles que *Manihot glaziovii* aient participé à la constitution génétique de l'espèce cultivée.

Sa diffusion à partir du continent américain s'est faite en Afrique dès le XVI^e siècle. Puis elle a gagné l'Asie et enfin l'Australie à la fin du XIX^e siècle. L'Afrique peut être considérée comme un centre secondaire de diversification, aidé par l'introduction de *M. glaziovii*. L'exploitation de *M. glaziovii* a été tentée au début du XX^e siècle pour produire du latex. Grâce à sa bonne résistance aux stress biotiques et climatiques, il a servi à l'amélioration variétale du manioc (croisements interspécifiques).

● Les caractéristiques morphologiques

Le manioc est une plante arbustive pérenne de un à quatre mètres de hauteur.

Une ou plusieurs tiges principales se développent simultanément sur la bouture. Leur nombre, caractéristique de la variété, est modifié par la qualité et le mode de plantation des boutures. La diversité des formes dépend de deux types de ramifications :

- > le premier type est lié à l'aptitude à la floraison. En effet, la transformation de l'apex terminal en axe floral entraîne la sortie simultanée de deux à quatre axes végétatifs. Ces rameaux fleurissent à leur tour et développent de nouveaux axes. Suivant la précocité et le nombre de floraisons, les tiges offrent un port très différent : de cylindrique ou érigé (aucune ou une floraison tardive) à étalé ou en boule (plus de cinq floraisons précoces en un an). Un sol pauvre augmente le nombre de ramifications de ce type ;
- > le second type de ramifications se fait à partir de bourgeons latéraux sur la partie inférieure des tiges (de zéro à sept). Cette aptitude est liée aux variétés. Le nombre est augmenté par la fertilisation et les densités faibles de plantation.

Selon les milieux, le nombre de tiges et les deux types de ramification conditionnent pour partie le choix des techniques culturales : écartement entre plants, pratique et nature des associations culturales.

Les feuilles sont palmées. Le pétiole (1 à 25 cm de long), le nombre de lobes (un à treize), leur forme et l'orientation générale du limbe sont des critères de différenciation variétale. Le nombre de lobes peut évoluer au cours du temps : faible au début, il est au maximum entre trois et six mois pour devenir unique en fin de cycle.

Le mode de propagation en culture est la bouture de tige. Une bouture émet des racines au niveau des nœuds en contact avec le sol humide (racines nodales) et à la base (racines basales, plus nombreuses). Le nombre potentiel de racines diffère selon les variétés. Il diminue avec l'utilisation de boutures de mauvaise qualité, la sécheresse ou l'excès d'eau. Chaque racine primaire est un site potentiel de stockage des réserves

amylacées et commence à accumuler de l'amidon sur un secteur dès les premières semaines.

Il est préconisé de créer des parcs à bois réservés à la production de boutures de qualité pour des systèmes de culture améliorée. Des techniques culturales spécifiques sont appliquées : fertilisation surtout azotée, écartements plus faibles.

● **La reproduction sexuée et la diversité variétale**

Les graines sont surtout utilisées dans les programmes de recherche. Leur pouvoir germinatif est faible (environ 20 %) et la levée des plants issus de graines est étalée dans le temps. L'index de récolte est plus faible que celui d'une plante issue de bouture. La racine pivot séminale très fibreuse n'est pas toujours appréciée.

Espèce monoïque, les fleurs unisexuées sont groupées en inflorescences avec des fleurs mâles au sommet et femelles à la base. La fécondation est facile à contrôler. Le fruit est une capsule qui libère trois graines. Le genre *manihot* contient trente six chromosomes.

Les collections de variétés de manioc

En Amérique latine, le CIAT (Colombie) a réuni la plus grande collection de manioc sauvages et cultivés. Des variétés adaptées aux besoins des pays latino-américains sont disponibles (nom : MCOL + numéro). Différentes collections nationales existent. L'EMBRAPA au Brésil diffuse les meilleures variétés suivant les zones écologiques ; par exemple Mãe-Joana, Zolhudinha et Amazonas-EMBRAPA pour le bassin amazonien.

Pour l'Asie, le CIAT a créé une antenne en Thaïlande : ce pays dispose de plusieurs variétés améliorées plus ou moins ramifiées (Rayong 2, 3, 60...) et adaptées à la production de cossettes ou à l'alimentation humaine (% MS élevée).

En Afrique, l'ITA (Ibadan, Nigéria) propose des variétés adaptées à différentes conditions édaphoclimatiques et aux systèmes de cultures (nom : TMS + numéro). Des programmes nationaux interviennent aussi dans la création et la diffusion de variétés : par exemple, l'Ouganda diffuse les variétés NASE-1 à -9 résistantes à la nouvelle souche du virus de la mosaïque africaine apparue dans les années 90.

● **L'écologie du manioc**

Le manioc est cultivé dans toute la zone intertropicale avec des régimes pluviométriques à une ou deux saisons des pluies et des pluviosités annuelles variant de 600 mm à plus de 4 000 mm. La température minimale est de 12°C, le taux maximum de croissance se situe entre 25 et 29°C.

Tableau 8. Effets des facteurs du milieu sur la production de manioc

Facteurs	Effets	Conséquences
Rayonnement faible	Diminution du nombre de tiges et de racines par plant	Faible couverture du sol
Sol caillouteux	Enracinement sinueux	Tubercules irréguliers et fragiles
Sol pauvre chimiquement	Racines tubérisées plus longues et plus fines	Refus plus importants
Vent fort	Verse des tiges	Repousses des aériens, perte de poids et de qualité (faible % MS) des racines
Forte pluviométrie avant arrachage	Reprise de croissance et réhydratation des racines	Pertes limitées à l'arrachage, temps de travaux diminués, mauvaise qualité de la production (faible % MS)

● La culture

● Les grands systèmes de culture

Le manioc est produit en majorité par de petits exploitants qui pratiquent parfois la monoculture : exportation de cossettes (Thaïlande, Ghana), fabrication de produits finis (gari, attiéké, fofou...) pour approvisionner les villes (Afrique). La culture du manioc associée à d'autres vivriers (maïs, légumineuses, plantes maraîchères...) ou encore à de jeunes plantations (palmier, hévéa...) est toutefois fréquente. Dans ce cas, l'importance relative du manioc varie beaucoup selon les objectifs de production : autoconsommation, commercialisation en frais, transformation.

Quelques grandes plantations semi-mécanisées existent (Indonésie, Brésil). En Afrique, plusieurs projets de création de grosses exploitations mécanisées se sont soldés par des échecs en raison des coûts de production, de l'absence de débouchés durables ou de l'inadéquation de la production aux besoins du marché local et d'exportation.

Le choix variétal dépend de la culture (pure ou associée) et des habitudes alimentaires. De façon générale, sont préférées les variétés douces à cycle inférieur à un an, avec une teneur en matière sèche élevée et une bonne régularité dans le poids individuel des tubercules (400 à 800 g).

La réputation du manioc comme culture épuisante est liée à ses potentialités : 90 t/ha/an. Un rendement frais de cinquante tonnes (soit 20 t de MS) est atteint facilement en un an derrière défriche. Ce sont 40 à 70 tonnes de parties aériennes qui lui correspondent (15 à 25 t de MS). La partie aérienne n'est pas restituée (repousse gênante des tiges). Dans ces conditions, le total des exportations est important.

Sa bonne tolérance à la sécheresse, aux maladies et aux parasites constitue un avantage. Les contraintes intervenues en cours de cycle n'ont pas la même importance que pour d'autres plantes : en cas de stress, les réserves des racines aident à la repousse des parties aériennes qui, redevenues fonctionnelles, fabriquent à nouveau de l'amidon.

Le manioc est pauvre en protéines (environ 1 %). La consommation des feuilles (5 à 7 % d'azote total) est possible. Mais il faut veiller à ce que le prélèvement des feuilles ne se fasse pas au détriment du remplissage des racines.

● **L'élaboration du rendement et l'itinéraire technique**

● **Le mode de plantation**

L'installation de la bouture se fait sur sol humide :

- > horizontalement sous 4 à 15 cm pour des sols lourds argileux avec risque de noyer la plante car les racines sont sensibles à l'excès d'eau ;
- > à l'oblique ou verticale (enfoncée au deux tiers en respectant la polarité haut/bas) sur des sols légers sableux avec risque de sécheresse, pour assurer l'émission plus en profondeur des racines basales. La coupe de la base en biseau combinée à une plantation oblique regroupe les racines sur un même secteur et implique ensuite un regroupement des tubercules (arrachage facilité) ; une coupe droite avec une plantation verticale donne des racines en rayon autour du plant.

Le buttage ou le billonnage évite l'engorgement du sol et concentre la couche supérieure humifère. Lorsque la qualité des boutures est insuffisante, une même butte peut en porter deux ou plus pour améliorer la reprise.

La densité de plantation varie de quelques milliers à 12 000 plants/ha en culture traditionnelle (pure ou associée), sans régularité des distances. Elle se situe entre 10 000 et 20 000 plants/ha en systèmes intensifs (1 mètre entre les lignes ; 0,5 à 1 mètre entre les plants). La disposition en ligne facilite la pénétration des parcelles (sarclages) et la culture associée, car elle limite la casse des jeunes tiges fragiles.

● **L'entretien**

La couverture du sol est lente (100 % vers trois mois pour 10 000 plants/ha) et un à trois sarclages manuels sont nécessaires. La lutte contre les adventices se fait par le choix variétal (floraisons précoces), la culture associée, la densité de plantation. Les traitements chimiques sont rares (trifluraline, oxyfluorène).

● **La fumure**

Elle est peu pratiquée en milieu traditionnel. Les amendements organiques augmentent la production. La fertilisation minérale recommandée se situe entre 30 et 60 kg d'azote, en évitant l'excès par rapport à K car les parties aériennes se développent alors au détriment des tubercules. L'apport de potassium (KCl) recommandé est de 60 à 300 kg. Les besoins en phosphore sont plus limités (20 à 40 kg d'acide phosphorique), des mycorrhizes endotrophes aident l'absorption de P.

● La défense des cultures

Tableau 9. Les principaux problèmes phytosanitaires du manioc

Principaux problèmes phytosanitaires	Lieux	Note ⁽¹⁾
Mosaïque africaine du manioc (géméni-virus transmis par la mouche blanche <i>Bemisia tabaci</i>)	Afrique	***
Bactériose vasculaire (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Manihotis</i> , ou <i>X. axonopodis</i> en Amérique Latine)	Afrique, Amérique Latine	*** **
Bactériose de tiges (<i>Erwinia carotovora</i>)	Amérique Latine	*
Anthraxnose (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f. <i>sp manihotis</i> Henn.)	Zones humides	*
Superélongation (<i>Sphaceloma manihoticola</i>)	Amérique Latine	*
Cercosporioses (<i>Cercospora henningsii</i> , <i>C. caribaea</i>)	Inde, Afrique	*
Pourritures des tiges et des racines (<i>Sclerotium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Colletotrichum</i> ...)	Zones humides – Afrique, Amérique Latine	*
Cochenille farineuse du manioc (<i>Phenacoccus manihoti</i> Mat.-Ferr. ou <i>Ph. Herren</i> en Amérique Latine)	Afrique Amérique Latine	*** *
Acariens verts (<i>Mononychellus tanajoa</i> ou <i>M. progresivus</i> , <i>Oligonychus gossypii</i>)	Afrique, Amérique Latine	**
Mouches blanches (<i>Aleurotrachelus socialis</i> , <i>Trialeurodes variabilis</i>)	Amérique Latine	*
Criquets (<i>Zonocerus variegatus</i> L.)	Afrique	*
Termites	Afrique, Amérique Latine	*

(1) Importance: * = faible, ** = moyenne, *** = forte

L'emploi de variétés résistantes contre la mosaïque, la bactériose et les maladies fongiques est recommandé et le nettoyage des outils de coupe est parfois utile. La lutte biologique est tentée en Afrique (ITA) contre la cochenille farineuse (élevage et lâchers du parasite *Epidimocarsis lopezi*) ou les acariens. L'usage de pesticides est exceptionnel.

● Les temps de travaux

La mécanisation des techniques culturales est rare. Pour la plantation, les temps de travaux en culture mécanisée, estimés au Brésil, varient de 2 h/ha (à plat) à 7 h/ha (oblique). Les rendements de chantier des récolteuses mécanisées sont d'environ 6 h/ha, et les pertes sont souvent élevées.

● La récolte, la post-récolte et la qualité des produits

La récolte comprend la coupe des aériens (des tiges saines et vigoureuses sont retenues pour les boutures du cycle suivant) et l'arrachage des tubercules. Celui-ci est plus pénible en saison sèche. C'est pourtant la meilleure période car la teneur en matière sèche des racines est la plus élevée. La racine arrachée se détériore irrémédiablement au-delà de trois jours.

La formation d'acide cyanhydrique (HCN) résulte de la décomposition enzymatique par la linamarase de deux glucosides : linamarine – 90 %, lotaustraline – 10 %. La réaction se produit après une blessure : la découpe des racines favorise l'hydrolyse.

L'acide cyanhydrique s'évapore dès 25°C. La volatilisation est d'autant plus rapide et intense que les fragments sont petits et soumis à la chaleur : soleil, cuisson...

La quantité de linamarine et l'activité de la linamarase diffèrent selon les variétés. Le stress hydrique, l'apport d'azote, le prolongement du cycle cultural augmentent le taux d'acide cyanhydrique. En revanche, l'apport de potassium le diminue.

● **La production actuelle et les perspectives**

● **La production et les échanges internationaux**

La production mondiale annuelle calculée en moyenne sur trois ans (FAO, 2000) est de 164 millions de tonnes fraîches, dont 53 % en Afrique, 29 % en Asie, 18 % en Amérique Latine. Les cinq premiers pays producteurs sont le Nigéria (31 Mt), le Brésil (22 Mt), la Thaïlande (18 Mt), la RD du Congo (16 Mt) et l'Indonésie (15 Mt). La part de l'Afrique est en augmentation ces dernières années.

Les exportations mondiales concernent 5,6 Mt de copeaux, granulés, fécule et farine. Elles concernent surtout l'Asie (82 % par la Thaïlande). 60 % de ces produits sont importés par l'Europe et 23% par l'Asie.

● **La filière et ses perspectives d'évolution**

La teneur élevée en eau (60 à 65 %) des racines nécessite une transformation au plus près des lieux de production. La création sur place de petites unités de séchage et de transformation en produits semi-finis (cossettes...) ou finis (attiéké, tapioca, gari...) est à encourager.

Une large diffusion des variétés améliorées devrait augmenter les rendements dont la moyenne à l'échelle mondiale reste encore faibles : 9 t/ha.

● **Les questions à la recherche**

Les organismes de recherche

Amérique du Sud : CIAT, Cali, Colombie

Afrique : IITA, Ibadan, Nigéria

Asie : CIAT (Asian Office), Bangkok, Thaïlande

Europe : CIRAD, IRD (France) ; Ku Leuven (Belgique) ; NRI (Grande Bretagne)

Lorsque le manioc est l'aliment de base, dans un contexte de saturation foncière excluant la jachère, des solutions doivent être trouvées (cultures intercalaires...) pour maintenir la fertilité.

La création de variétés résistantes aux problèmes phytosanitaires majeurs et à haut rendement doit se soucier de la qualité du produit fini, afin qu'il soit capable de concurrencer d'autres productions amyliacées. Les principaux critères sont la longueur et le diamètre des racines, les teneurs en eau, en fibres, en amidon et en HCN. La création variétale doit, par ailleurs, veiller à éviter la baisse de qualité des racines par un apport potassique.

L'encouragement à consommer les feuilles doit s'accompagner de la mise au point de systèmes de cultures spécifiques avec semis (il faut améliorer la germination) ou par bouturage à densités élevées (> 60 000 plants/ha) pour limiter les pertes de rendement et de qualité provoquées par des cueillettes trop nombreuses sur les parcelles destinées avant tout à la production de racines.

LA MARANTA

Maranta arundinacea L.

Anglais : bermuda, st vincent, west, indian arrowroot

Famille des Marantaceae

Cette plante cultivée pour son rhizome est originaire du Brésil et du Venezuela, où existent des formes sauvages. Elle est très répandue aux Antilles, particulièrement à Saint Vincent, et sa culture est pratiquée en Inde, au Sri Lanka et en Indonésie.

La plante mesure de 0,6 m à 1,8 m de haut ; les feuilles sont lancéolées et portées par un long pétiole. Les fleurs produisent rarement des graines.

Le rhizome contient 19 à 21 % d'amidon et est utilisé comme aliment pour les bébés du fait de sa très grande digestibilité. Le procédé artisanal de fabrication de la fécule est le suivant : les rhizomes, dont on a retiré la peau, sont râpés. La pulpe râpée est mélangée à une grande quantité d'eau, puis on filtre et on laisse décanter. L'amidon se dépose. Il est récupéré et mélangé à nouveau à de l'eau. Les blocs d'amidon sont ensuite séchés à l'air sur des claies, puis réduits en poudre.

Actuellement, l'amidon est utilisé essentiellement par l'industrie du papier mais ce débouché est menacé.

On plante des fragments de rhizomes, à des distances de 75 cm sur 37 cm. Les rhizomes peuvent être récoltés au bout de dix mois. Une plantation dure cinq à six ans. Les rendements moyens sont de 7 à 13 t/ha, et peuvent atteindre 31 t/ha.

LA PATATE DOUCE

Ipomoea batatas

Anglais : sweet potato

Espagnol : batata, camote, boniato

Portugais : batata doce

Famille des Convolvulaceae

● **Les utilisations de la patate douce**

C'est une plante vivace, cultivée pour ses tubercules, de forme et de couleur variables. On en trouve ainsi à chair blanche, jaune, rouge ou pourpre. Ils contiennent, en plus de l'amidon, des dextrines, des sucres et du bêta-carotène (responsable d'une coloration jaune orangé), en quantité variable selon les variétés.

Les feuilles peuvent être plus ou moins découpées, sur des tiges rampantes de 50 cm à plus de 3 m de long.

Comme tous les tubercules, ceux de la patate douce peuvent être cuisinés de différentes manières. Ils sont parfois utilisés pour produire de la farine ou de l'amidon, au Japon et en Corée en particulier, pour une transformation industrielle et pour la fabrication de chips. Ils sont également appréciés par les animaux (porcs, bovins...). Les feuilles peuvent être consommées en épinards (brèdes) ou données comme fourrage au bétail. En Extrême-Orient, les extrémités des tiges sont appréciées en tant que légume-feuille riche en vitamines A et B2. On y utilise aussi les pétioles.

C'est le tubercule tropical qui est capable de fournir le plus de calories à l'unité de surface dans un temps donné, en plaine et en toute saison.

● **La plante et son environnement**

● **L'origine et les zones de production**

La patate douce était cultivée en Amérique tropicale avant l'arrivée des Européens, ainsi qu'en Polynésie et en Nouvelle Zélande, ce qui indiquerait des liaisons très anciennes entre l'Amérique et la Polynésie. De nombreuses espèces d'*Ipomea* sauvages et cultivées existent dans les régions tropicales, dont *Ipomea aquatica* (kangkong ou lise-ron d'eau), très consommée en Asie du sud-est.

Sa répartition actuelle correspond à toutes les zones tropicales et subtropicales, et à la zone méditerranéenne.

● **L'écologie de la patate douce**

La plante supporte mal les basses températures en dessous de 10°C. La végétation démarre à partir de 15°C et la croissance du feuillage est maximale entre 21 et 28°C. La tubérisation est plus rapide en jours de onze heures ; elle est inhibée en jours supérieurs à quatorze heures, ce qui explique que la culture est cantonnée entre l'équateur et le 40° parallèle. La floraison est rare en jours de plus de treize heures, elle survient en jours de onze à douze heures.

La patate douce peut être plantée en altitude (jusqu'à 1 200 m) à des latitudes proches de l'équateur ; les cycles végétatifs sont alors plus longs (jusqu'à six mois).

Les besoins en eau sont de 600 mm par cycle ; une pluviosité annuelle de 750 à 1 000 mm est optimale. Un manque d'eau intervenant cinquante à soixante jours après la plantation (pendant la tubérisation) affecte le rendement.

Les sols doivent être légers, sans excès d'eau ; la plante tolère des pH de 5,2, mais l'optimum se situe entre 5,2 et 6,6. Elle ne supporte ni la salinité, ni l'alcalinité. En cas de déficience en calcium et magnésium, les amendements doivent être apportés l'année précédent la plantation.

● Les variétés

Les centres de sélection les plus importants se situent à Porto Rico, à Cuba, à Trinidad, au Pérou (CIP), en Chine et au Japon. Le CIP peut fournir sous forme de vitro plants, des patates douces certifiées indemnes de virus. Les objectifs de sélection sont très variables. Selon les cas, on recherche des variétés :

- > à teneur variable en matière sèche, sucre, carotène, amidon et protéines dans les tubercules, mais aussi dans les feuilles pour les variétés destinées à l'alimentation animale ;
- > adaptées à des sols peu fertiles ;
- > résistantes aux nématodes ou à *Cylas formicarius* ;
- > résistantes ou tolérantes au complexe de virus local ;
- > ayant un rapport donné feuillage/tubercule.

Les qualités organoleptiques et les objectifs de production constituent les critères essentiels à prendre en compte pour l'introduction de nouvelles variétés.

● La culture

● L'itinéraire technique

La patate douce est très souvent cultivée en association avec d'autres plantes dans les systèmes culturaux vivriers.

On plante des boutures de 25 à 30 cm de long, portant trois à quatre bourgeons, dont les deux tiers inférieurs sont effeuillés et enterrés, inclinés à 45°. Ces boutures peuvent être au préalable désinfectées par trempage dans une solution insecticide (lutte contre les charançons).

La plantation se fait sur planches ou billons. En cas de culture pure, les densités varient de 30 000 à 60 000 boutures/ha. Les boutures sont placées en lignes simples ou doubles selon la largeur du billon. Sur la ligne, l'écartement est de 30 cm. L'écart entre lignes dépend du type de sol : s'il nécessite un drainage important, les billons peuvent atteindre 40 cm de haut ; l'écart entre deux billons est alors de 1,6 m et deux lignes peuvent être plantées sur le billon. Aux Etats-Unis, les plantations se font habituellement à 30-37,5 cm sur la ligne, les lignes étant distantes de 90 cm à 1,05 m pour des sols bien drainés, et de 1,20 m pour des sols plus lourds.

Le désherbage (mécanique ou chimique) doit être réalisé tant que le feuillage ne couvre pas le sol, le premier ou le second mois de culture.

Les tubercules se récoltent 100 à 180 jours après la plantation. La récolte doit être effectuée par temps sec sans blesser les tubercules. Elle se fait parfois en laissant le plant en place ; il est alors possible d'obtenir une deuxième production trois à quatre mois plus tard.

La patate douce est peu exigeante en azote. La dose de potasse appliquée doit correspondre au triple ou au quadruple de celle d'azote. La fertilisation préconisée à la Réunion est de 500 kg de 15-12-24 par hectare, et 300 kg/ha de chlorure ou sulfate de potasse pour la culture suivante, en complément de sa fertilisation normale. Dans le Maryland, on applique 1 600 kg/ha de 3-9-12.

Les apports d'engrais se font en trois fois : avant la plantation, puis 40 et 70 jours après. Les meilleurs résultats obtenus par l'IRAT en Martinique l'ont été en plaçant l'engrais à 10-15 cm de la ligne de plantation, à 10 cm de profondeur.

La patate douce est considérée comme une culture épuisante pour les sols.

Tableau 10. Exportations moyennes d'éléments fertilisants, pour une production de 50 t de tubercules et de 20 t de lianes/ha

N :	117 kg/ha	K ₂ O :	274 kg/ha	MgO :	35 kg/ha
P ₂ O ₅ :	60 kg/ha	CaO :	113 kg/ha	Na :	34 kg/ha
S :	21 kg/ha				

● Les maladies et les ennemis

Sur le feuillage, on peut trouver divers champignons, mais il est rare que leur présence nécessite des traitements fongicides.

Des maladies à virus (*Feathery Mottle Virus*) sont observées sur les tubercules et sur le feuillage, particulièrement aux Etats-Unis et en Afrique du Sud ; elles provoquent un rabougrissement des tiges, des mosaïques du feuillage, des craquelures sur les tubercules. Le seul moyen de lutte est l'utilisation de variétés résistantes et la sélection de boutures saines.

Certains champignons s'attaquent aux tiges et aux tubercules : pourriture noire (*Ceratocystis fimbriata*) et fusariose vasculaire (*Fusarium oxysporum f. batatas*) sont assez répandues. La pourriture noire serait moins fréquente quand la multiplication s'effectue par boutures. La lutte contre ces champignons repose sur l'utilisation de matériel sain à la plantation, trempé dans une solution fongicide.

Les insectes souterrains les plus nuisibles à la patate douce sont des charançons (*Euscepes postfasciatus*, et *Cylas formicarius*). Un foreur de la tige (*Omphisa anastomosalis*) est aussi mentionné dans le Pacifique, en Indonésie et en Malaisie. Les racines de patate douce sont parfois infestées par divers nématodes (*Meloidogyne*, *Rotylenchulus*). L'utilisation de pièges à phéromones (mis au point au CIP) constitue un moyen de lutte. Dans des sols vierges ou sains, la patate douce peut être cultivée trois ou quatre ans de suite sans problème sanitaire ; intégrée à une rotation culturale, elle ne doit pas être suivie d'une plante sensible aux nématodes car cela entraînerait leur prolifération. Diverses pourritures peuvent être observées sur les tubercules en cours de conservation.

● Les temps de travaux

En culture manuelle après une préparation mécanisée du sol, il faut, par hectare :

- > *préparation des billons* : vingt à vingt-cinq jours à la main, un jour en billonage mécanique ;
- > *coupe et préparation des boutures* : dix jours ;
- > *plantation* : dix à quinze jours ;
- > *entretien* : cinq à quinze jours ;
- > *récolte et tri des tubercules* : vingt à quarante jours.

● Les rendements

Les rendements varient fortement selon les cultivars, les conditions climatiques locales et les techniques culturales. La FAO indique des rendements moyens allant de 5 à 13 t/ha chez les principaux pays producteurs tropicaux ; Israël, qui pratique une culture très intensive, obtient 40 t/ha en moyenne. Les rendements obtenus en station expérimentale sont de 45 t/ha aux Etats-Unis, de 70 t/ha à Taïwan et de 88 t/ha à Tahiti.

● La conservation

La température optimale de conservation est de 13-14°C (à 85-90 % d'humidité relative), avec un risque de détérioration au-dessous de 10°C. Auparavant, il est conseillé de les stocker à 27-29°C dans un local bien ventilé pendant quatre à sept jours pour la cicatrisation des blessures, à 85-90 % d'humidité relative. La durée maximale de conservation des tubercules stockés dans ces conditions est en moyenne d'un mois.

Les manipulations à la récolte doivent être très précautionneuses afin de ne pas blesser les tubercules, ce qui entraînerait l'installation de pourritures. La durée de conservation des tubercules en terre est de six mois, mais les risques de détériorations diverses sont importants.

● La production mondiale

La production mondiale en 2000 a été de 139 millions de tonnes, dont 118 pour la seule Chine. Les autres principaux producteurs sont le Nigeria (2,5 Mt), l'Ouganda (2,4 Mt) et l'Indonésie (1,8 Mt).

LA POMME DE TERRE

Solanum tuberosum

Anglais : potato

Espagnol : patata

Portugais : batata inglesa

Famille des Solanaceae

● Les utilisations de la pomme de terre

La pomme de terre est cultivée pour ses tubercules, riches en amidon. Ceux-ci sont consommés de différentes manières et subissent parfois des transformations artisanales (par exemple chuno ou moralla dans les Andes) ou industrielles. On en tire de l'amidon, de la fécule, de l'alcool. Différents sous-produits peuvent être utilisés : pulpe, peau...

● La plante et son environnement

Originaires d'Amérique du Sud, elles ont été introduites en Europe au XVI^e siècle, puis en Asie.

Elle est actuellement cultivée partout dans le monde, essentiellement en zone tempérée. Sous les tropiques, elle est cultivée en altitude car elle demande des températures inférieures à 24°C le jour et 16°C la nuit pour tubériser.

● Description

C'est une plante herbacée, pérenne grâce à ses stolons qui donnent naissance à des tubercules à leur extrémité ; après dépérissement de la partie aérienne, les tubercules donnent naissance à de nouvelles tiges.

Les tubercules, ovoïdes, pèsent de 50 à 500 g. La couleur de la peau change (jaune, rose, violette) selon la variété.

● L'écologie de la pomme de terre

L'optimum de végétation se situe entre 12° et 18°C. La plante résiste bien au froid et ne subit de graves dégâts qu'au-dessous de 4°C.

Une pluviométrie de 500 à 750 mm, régulièrement répartie, est nécessaire pendant le cycle de culture ; la pomme de terre tolère très mal une sécheresse de courte durée, particulièrement pendant les neuf dernières semaines de culture. Un apport d'eau irrégulier entraîne une baisse de la production de tubercules, ainsi que leur déformation. Dans les climats arides, l'irrigation doit être fréquente et régulière jusqu'à la fin de la tubérisation ; elle peut être réduite en phase de maturation.

Les cultivars originaires d'Amérique du Sud ne produisent de manière convenable qu'en jours de douze à treize heures. La plupart des cultivars tempérés ne sont pas photosensibles. La pomme de terre s'adapte à tous les types de sols, à condition qu'ils soient bien drainés. Elle préfère les sols peu acides (pH de 6 à 6,5).

Un tubercule récolté à maturité n'est pas capable de repousser aussitôt : il est en dormance. Les conditions de levée de dormance dépendent de facteurs génétiques et environnementaux (minimum de huit semaines). La dormance peut être rompue par différents produits mais aussi naturellement en plaçant les tubercules à 20-30°C pendant trente à quarante-cinq jours, ce qui correspond à des températures de zone tropicale.

● Les variétés

Une grande diversité de formes cultivées et sauvages de *Solanum* tubérifères est localisée dans les Andes au-dessus de 2 000 m, entre 10°N et 20°S de latitude. Parmi les espèces de *Solanum* cultivées, certaines sont diploïdes, triploïdes, ou tétraploïdes (*S. tuberosum*).

La plupart des cultivars utilisés dans les régions chaudes ont été sélectionnés à l'origine dans des conditions tempérées, et une minorité s'adapte aux conditions tropicales. Actuellement des programmes de sélection importants sont menés en vue d'une culture de basse altitude en zone tropicale.

La résistance aux principales maladies tropicales est recherchée au CIP, au Pérou, en particulier la résistance à *Pseudomonas solanacearum*. Les critères de sélection les plus anciens concernaient la résistance à la sécheresse, aux virus, au mildiou, les qualités culinaires et l'aptitude à la conservation.

● La culture

La pomme de terre est plantée en culture pure ou en association. En association, elle ne tolère pas l'ombrage, sauf en tout début de cycle dans les climats chauds. Pour les cultivars tempérés, la maturité peut être atteinte au bout de trois mois chez les plus précoces, au bout de quatre à six mois en moyenne, et après plus de sept mois chez les plus tardifs. En milieu tropical, en jours plus courts, les tubercules mûrissent en général en quatre mois.

● La plantation et l'entretien

On plante généralement des tubercules ou fragments de tubercules germés. S'il s'agit de morceaux, ceux-ci doivent être plantés rapidement après la coupe (un à deux jours après celle-ci) ; ils doivent avoir le temps de former leur liège cicatriciel qui leur évite de pourrir dans le sol. Il faut généralement 1,2 à 2,5 tonnes de semences à l'hectare.

Les tubercules peuvent être plongés dans un fongicide avant la plantation. Il faut faire attention que les semences ne subissent aucune contamination virale (utilisation exclusive de tubercules issus de zones de culture où ce facteur est strictement contrôlé). La plantation de graines n'est pratiquée que par les sélectionneurs. Le sol doit être labouré profondément, puis les mottes sont brisées.

En conditions tempérées, la plantation s'effectue généralement en sillons espacés de 60 à 120 cm, à 20-40 cm sur la ligne ; l'espacement optimal dépend du cultivar et des facteurs du milieu. Les tubercules sont enterrés à 5 cm de profondeur. En conditions tropicales, on peut planter à plat ou sur billons, en fonction des conditions d'humidité du sol et des températures nocturnes et diurnes.

Plusieurs sarclages sont nécessaires pour éliminer les adventices. Il est nécessaire de butter les plants quatre à six semaines après la plantation en cas de sarclage manuel. En cas de désherbage chimique, un seul buttage à la levée des plants est nécessaire.

La pomme de terre est une plante très consommatrice d'éléments minéraux, plus particulièrement de potasse. Les apports varient en fonction des sols. À la Réunion, on recommande un apport de 1 200 kg de 10-20-20 par hectare. En Guadeloupe, sur les sols à allophanes, on apporte une fertilisation de 100 N, 100 K₂O et 200 P₂O₅ par hectare.

● Les maladies et les ennemis

Des viroses (enroulement, virus Y) sont transmises par des pucerons (*Myzus persicae*). L'utilisation de variétés résistantes et de plants sains est recommandée.

Le mildiou (*Phytophthora infestans*) se répand sur le feuillage et les tubercules à la récolte; la lutte s'effectue par l'utilisation de variétés peu sensibles et par la pulvérisation de fongicides : solutions cupriques, manèbe, mancozèbe...

Le flétrissement bactérien (*Pseudomonas solanacearum*) provoque un flétrissement brutal du feuillage ; la lutte passe par les rotations de culture et l'utilisation de variétés résistantes en cours de sélection. En altitude (> 1 000 m) la pomme de terre peut être attaquée par la «race 3», adaptée aux températures fraîches, transmise par les tubercules, et éliminée dans le sol par une rotation de plus de quatre ans sans solanées. En plaine, les pommes de terre flétrissent si le terrain est contaminé par la race commune tomate/aubergines.

Un rhizoctone (*Rhizoctonia solani*) provoque des sclérotés bruns sur tubercules et la levée est irrégulière ; il est conseillé de désinfecter les plants avant la plantation (benlate ou autre fongicide).

L'alternariose (*Alternaria solani*) provoque des lésions concentriques sur les feuilles (lutte : mancozèbe).

Contre les nématodes (*Meloidogyne sp.*, *Heterodera rostochiensis*), la lutte consiste à effectuer des rotations de plus de quatre ans avec des plantes non hôtes, et à traiter les semences.

Les noctuelles coupent les tiges à la levée. En cas d'attaque, on utilise des appâts insecticides (granulés ou son et insecticide).

● La récolte

Elle doit être effectuée par temps sec, en évitant de blesser les tubercules.

En région tempérée, on peut atteindre 40 t/ha ; en régions tropicales, les rendements sont inférieurs : de 5 à 11 t/ha en zone de plaine, 20 à 25 t/ha en altitude. Dans les zones tropicales de plaine, cette culture est rentable seulement s'il est possible d'importer à faible coût des semences ou s'il est possible de multiplier des plants importés sur des plateaux d'altitude (1 200 m minimum).

● La conservation

Le zéro de végétation est à 4°C : les tubercules n'évoluent pas si on les conserve à cette température. Au-dessous, ils se détériorent. À 4°C, l'amidon se transforme en sucres solubles ; il faut garder quelques jours à 8-10°C les tubercules stockés longtemps à 4°C si l'on veut obtenir la transformation inverse.

La germination des tubercules se produit vers 12-13°C, début de la phase d'incubation ; celle-ci est favorisée par l'obscurité. L'exposition à la lumière déclenche un processus de verdissement des tubercules (avec production de toxines).

Les tubercules peuvent être conservés à 20°C en clayettes dans un endroit sec et ventilé, à l'abri de la lumière. Seuls des plants sains doivent être stockés. La conservation est possible plusieurs mois dans ces conditions dans des locaux sains.

● La production

La production mondiale a été de 328 millions de tonnes en 2000, les principaux producteurs étant la Chine (66 Mt), la Russie (34 Mt), l'Inde (25 Mt) et la Pologne (24 Mt). Les six plus grands exportateurs sont la France, le Canada, l'Italie, les Pays-Bas, l'Allemagne et Chypre.

La production des zones tropicales est insuffisante pour satisfaire la demande ; les perspectives de développement de cette culture y sont importantes grâce aux recherches en cours : adaptation des cultivars, méthodes de stockage.

LE SAGOUTIER

Metroxylon

Anglais : sago palm

Famille des *Areaceae*

● La plante

C'est un palmier de taille moyenne, utilisé pour la fécule extraite du tronc, appelée sagou. Celui-ci se présente sous forme de grains semi-transparents. Ce produit est consommé localement, une petite production étant exportée par Sarawak (Malaisie) pour la préparation de potages.

Le genre *Metroxylon* regroupe cinq espèces répandues en Nouvelle-Guinée et dans les îles du Pacifique : Moluques, Fidji, Carolines, Salomon, Samoa. Il s'est également diffusé en Indonésie et Malaisie. Ces espèces diffèrent par la forme des feuilles, la présence d'épines ou non, l'insertion de la hampe florale, la couleur de l'amidon, la durée de vie. Les plus importantes sont *M. sagu* et *M. rumphii*. On extrait également du sagou d'arbres de la famille des *Cycadaceae* en Australie, au Mexique et en Malaisie.

Le sagoutier peut se développer sur des sols marécageux, où il se trouve à l'état spontané. Il peut pousser correctement sur des sols plus secs et supporter une saison sèche marquée sur des sols qui restent humides. Il est relativement tolérant à la salinité. On le trouve jusqu'à 700 m d'altitude.

Ce palmier est monoïque et l'inflorescence se développe selon les espèces sur une hampe prenant naissance au sommet du tronc ou sur des hampes latérales. Le sagoutier meurt après la floraison qui a lieu au bout de huit à dix-sept ans, selon l'espèce et les conditions du milieu.

● La culture

Il porte des drageons à sa base, qui peuvent être utilisés pour sa multiplication. Il peut aussi se multiplier par graines, mais celles-ci sont très peu viables et le résultat plus aléatoire. Les drageons (10 à 15 cm) peuvent être plantés dans des sacs en polyéthylène ; ils restent en pépinière environ trois mois. Les écartements en plantation sont de 6 à 7 mètres entre les arbres. Les jeunes plants doivent être buttés. Le nombre de repousses doit être limité.

Les palmiers sont abattus dès l'apparition de l'inflorescence afin d'en extraire le sagou (fécule). Le tronc est coupé en deux dans le sens de la longueur, évidé, et la partie médullaire, riche en fécule, est lavée plusieurs fois puis séchée. Le sagou peut être produit perlé ou non. Un tronc de *M. sagu* produit en moyenne 180 kg de farine brute. On obtient 58 % de sagou à partir de la farine brute.

Les recherches menées à ce jour sur le genre *Metroxylon* l'ont été en Malaisie et en Indonésie, principal producteur mondial.

LE TARO ET LE MACABO

Aracées : *Colocasia esculenta* (taro), *Xanthosoma sagittifolium* (macabo))

Colocasia

Français : taro

Anglais : taro ou cocoyam

Espagnol : malanga (en espagnol de Cuba)

Portugais : inhame

Xanthosoma

Français : macabo

Anglais : cocoyam ou new cocoyam

Espagnol : tannia, yautia, ou macabo

Portugais : inhame

● **Les utilisations du taro et du macabo**

Le taro est cultivé pour son corme principal (base de la tige) et ses cormes secondaires. Le macabo est cultivé pour ses cormes secondaires ; le corme principal, trop fibreux pour la consommation humaine, est réservé à l'alimentation animale ou utilisé comme plant après segmentation. Les cormes s'utilisent de la même façon que des pommes de terres. Ils sont mangés cuits, bouillis, frits ou en purée.

D'après les statistiques de la FAO, il y aurait un million d'hectares cultivés mais la réalité est probablement proche du double. En effet, les plus gros pays producteurs (Chine, Inde, Myanmar et Indonésie) n'affichent pas leurs statistiques et il s'agit essentiellement de cultures de case très difficiles à recenser.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine des espèces**

L'aire d'origine du taro (*C. esculenta*) est probablement le Sud-Est asiatique, du Myanmar à la Papouasie Nouvelle Guinée. L'aire d'origine du macabo (*X. sagittifolium*) est le bassin amazonien.

Ces deux plantes sont maintenant cultivées dans toute la zone intertropicale. Le taro bénéficie d'une plus grande plasticité : on trouve des taros en Inde à plus de 2000 m d'altitude, au Japon, en Chine du Nord et même en Egypte où il fait l'objet d'une culture intensive.

● **Les caractéristiques morphologiques**

Mis à part les différences d'anatomie florale, souvent difficiles à observer car les cultivars fleurissent rarement, le taro se distingue par un pétiole qui s'insère au tiers inférieur du limbe (feuille peltée) tandis que le pétiole du macabo est placé dans le prolongement de la nervure centrale (feuille sagittée).

Le macabo est diploïde à $2n=2x=26$ chromosomes. On trouve des taros diploïdes ($2n=2x=28$) et triploïdes ($2n=3x=42$) sans qu'il existe de différences morphologiques entre les deux cytotypes.

Le taro est une espèce très polymorphe et plusieurs milliers de cultivars existent. Deux grands groupes variétaux existent : les *dasheen* cultivés pour leur corme principal et les *eddoe* cultivés pour leurs cormes secondaires. Ces derniers sont plus adaptés aux basses températures et aux latitudes élevées.

La variabilité des caractères morphologiques, chez le taro comme le macabo, concerne la forme des cormes et des limbes, la longueur des pétioles et les pigmentations anthocyanées des appareils végétatifs et souterrains ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des cormes. Le poids du corme principal varie de 250 g à plus de 4 kg.

D'une manière générale, les *Xanthosoma* tolèrent beaucoup mieux la sécheresse que les *Colocasia*. Les macabos sont aussi plus grands, plus hâtifs et plus rustiques que les taros mais leurs qualités organoleptiques sont moindres. Ils tendent néanmoins à les remplacer dans les lieux de culture où la pression des pathogènes augmente. Mais les *eddoe* peuvent aussi remplacer le macabo là où sévit le *tannia decline* (*Pythium myriolylum*).

● L'écologie du taro et du macabo

Ces deux aracées sont des plantes sciaphiles de la zone tropicale humide, qui craignent le vent car il active la transpiration de leurs grandes feuilles. Elles se plaisent donc en situation abritée, sans écarts brusques de température et sont sensibles à la sécheresse. Leurs exigences pluviométriques sont de l'ordre de 2000 mm par an au moins, bien répartis.

Les *Colocasia* supportent une nappe phréatique élevée et peuvent être cultivés dans des tarodières irriguées en tout point comparables aux rizières. Les sols convenables sont très humides, frais, riches en bases échangeables et en matière organique. Les exigences des deux plantes restent néanmoins modestes.

● La culture

Taro et macabo sont habituellement cultivés en jardin de case et en association avec d'autres plantes vivrières. Cependant, à Hawaï, en Thaïlande, à Cuba, en Égypte et au Japon la culture vise des marchés lucratifs et se fait à hauts niveaux d'intrants. Dans ces pays, la culture est mécanisée, pour la plantation comme pour la récolte.

● La mise en place

En système pluvial, il est recommandé de planter en début de saison des pluies mais l'absence de dormance permet en fait une plantation à tout moment. La plantation se fait dans des trous de 10 à 30 cm de profondeur et la partie supérieure du semenceau portant les bourgeons doit être orientée vers la surface. Un léger paillage permet d'éviter un dessèchement trop rapide des bourgeons.

On recommande d'utiliser comme semenceaux soit des boutures de tiges aériennes, en fait les têtes des cormes incluant le bourgeon central, soit des rejets, soit encore de petits tubercules. Il existe une corrélation positive directe entre le poids de la propa-gule et le rendement final.

Selon les densités de plantation, le poids de semenceaux varie de 1,5 à 3 tonnes à l'hectare. Pour les taros, les densités de plantations qui donnent les meilleurs rendements varient de 60 cm en triangle à 80 cm en carré (soit environ 15 000 pieds/ha) ; pour les macabos, on recommande généralement 1 x 1 m en carré (soit 10 000 pieds/ha).

● L'entretien

Il se limite à un désherbage, chimique ou manuel, pendant les trois premiers mois du cycle. Taro et macabo produisent rapidement de larges canopées qui couvrent totalement le sol. Les pertes sont principalement dues aux sécheresses, au *Phytophthora* ou aux viroses.

● Les maladies et les ennemis

Le *Phytophthora colocasiae* peut faire des ravages et détruire la totalité d'une récolte de *Colocasia esculenta*, mais les *Xanthosoma* ne sont pas concernés. Seules les variétés tolérantes offrent une solution acceptable, les fongicides, bien qu'efficaces, étant généralement trop onéreux.

Le *Cladosporium colocasiae* est une rouille des feuilles, active lorsque les températures rafraîchissent en dessous de 20°C.

Divers *Pythium spp.* peuvent provoquer des pourritures de cormes. Beaucoup plus grave est le *tannia decline* (ou dépérissement du malanga) qui sévit en Afrique équatoriale, dans les grandes et petites Antilles et sur le continent américain et compromet la culture du macabo (le taro est moins sensible). Cette maladie est causée par une souche de *Pythium myriophyllum*. On conseille pour réduire sa gravité d'améliorer l'évacuation de l'eau du sol (plantation sur billons plutôt qu'en fosses) et d'appliquer des quantités importantes de matière organique. Son incidence résulte habituellement du mauvais choix d'un site et d'une hydromorphie. Il existe des variétés tolérantes.

Les viroses : le *Dasheen Mosaic Virus* (DMV) déprime les rendements des taros et macabos. Il convient d'assainir les cultures dès l'apparition des premiers symptômes par l'arrachage des plants infectés. Les vecteurs sont essentiellement les pucerons. Le complexe viral *Alomae Bobone Virus Complex* (ABVC) est fatal aux taros. Très peu de variétés sont résistantes.

Les larves de coléoptères (*Papuana spp.*) peuvent occasionner de graves dégâts et déprécier la valeur commerciale des cormes principaux et secondaires.

● Les temps de travaux

Tableau 11. Ordre de grandeur des temps de travaux en culture manuelle

Travaux	Jours/ha
Préparation du sol	20-30
Plantation	6-10
Entretien	25-35
Récolte	30-40
Total	81-115

● **La récolte et les opérations post-récolte**

● **La récolte et la conservation**

La récolte s'effectue dès que les canopées commencent à flétrir et à sécher. Selon les variétés, précoces ou tardives, les cycles sont de six à dix mois. Des récoltes tardives donnent des cormes plus développés. On observe fréquemment des rendements de l'ordre de 20 t/ha, mais il est possible en culture intensive d'atteindre quarante, voire cinquante tonnes à l'hectare. Le potentiel de rendement (plus de 60 t/ha) n'est jamais atteint en culture traditionnelle.

Les cormes se conservent pendant trois semaines à température ambiante et à l'ombre. Ils peuvent se conserver plus d'un mois à 10°C et sont très facile à congeler. La décongélation n'altère nullement les caractéristiques organoleptiques et les arômes.

● **La valeur alimentaire**

Taro et macabo sont des plantes amylacées. La teneur en matière sèche peut varier selon les variétés de 30 à 45 %, la teneur en protéines est assez élevée et la très faible dimension des grains d'amidon confère une très bonne digestibilité aux produits dérivés. Certains sont vendus sous la forme de produits hypoallergéniques pour les malades ou les nourrissons.

Les jeunes feuilles sont très appréciées sous la forme d'épinards (brèdes) et des soupes sont préparées en Asie à partir des pétioles bouillis de taro.

● **La transformation**

Après dessiccation, les chips sèches sont broyées pour obtenir des farines complètes qui sont très recherchées. L'amidon reste difficile à extraire en raison de la finesse des particules. Les cormes peuvent être transformés en purée fermentée (Poi à Hawaï), en flocons, en frites ou en chips prêts à l'emploi vendus dans les supermarchés (Hawaï).

● **La production actuelle et ses perspectives**

En 2001, la production était de 8,5 millions de tonnes dont 1,5 million en Chine mais la consommation annuelle par habitant est plus importante en Mélanésie et Polynésie, où la plante représente une culture alimentaire de base. Les contraintes au développement de la production sont essentiellement d'ordre parasitaire. On suppose donc que l'utilisation de variétés améliorées aura une incidence importante sur le développement de la culture. Des programmes d'amélioration ont récemment vu le jour au Japon, en Chine, aux Philippines, en Papouasie Nouvelle Guinée, au Vanuatu, aux Samoa et à Hawaï.

Bibliographie

Arbre à pain

- ANON. (1983). *Le fruit à pain : un aliment pour toute l'année*. Aliments du Pacifique Sud (NCL), Nouméa (NCL) : CPS, 1983. - n. 9, 4 p. - Texte original en anglais.
- KIBUNGU K.A.O. (1992). [*Layering propagation of breadnut tree Artocarpus communis var. Apyrenna*] - *Multiplication par marcottage de l'arbre à pain Artocarpus communis var. Apyrenna*. Tropicultura (BEL), 1992. - vol. 10, n. 2, p. 59-60.
- MAFWILA M., BUDIONGO K. et al. (1991). [*Effects of preparation and length of storage on protein and fat contents of breadfruit flour (Artocarpus incisus (Thunb.) L. f.)*] - *Effets du mode de préparation et de la durée de stockage sur les teneurs en protéines et en matières grasses de la farine du fruit de l'arbre à pain (Artocarpus incisus (Thunb.) L. F.)*. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (FRA), 1991. - vol. 44, n. 4, p. 463-468.
- MATTHEWS R.F., BATES R.P. et al. (1986). *Utilization of breadfruit in the tropics* - [*Utilisation du fruit de l'arbre à pain sous les tropiques*]. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture (USA), 1986. - vol. 30, p. 83-94.

Canna comestible

- BRÜCHER, H. (1989). *Useful Plants of Neotropical Origin and their relatives*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- DEGRÈS, S., MORENO SANTANDER, M., DUFOUR, D., and GARCIA BERNAL, H. (1997). *Etude préalable à la conception d'un équipement d'extraction d'amidon de canna edulis*. Cahiers de la recherche-développement p 43, 82-94.

Igname

- DEGRAS L., 1994, *L'igname*, Maisonneuve et Larose, Paris, 133 p.
- DUMONT R., MARTI A., 1997, *Panorama sur l'igname*, CIRAD, 185 p.
- ORKWOR G., ASIEDU R. (eds), 1998, *Food Yams*, Advances in Research, IITA, 49 p.

Manioc

- CARTER SE, FRESCO LO & JONES PG, 1992. *An atlas of cassava in Africa: historical, agroecological and demographic aspects of crop distribution*. CIAT, Cali, Columbia, 86 p.
- COCK JH, 1985. *Cassava: new potential for a neglected crop*. IADS series, CIAT, GTZ, 191 p.
- RAFFAILLAC JP, 1996. *La fertilité en zone tropicale humide et le manioc*. In actes du séminaire sur la fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, Montpellier, France. J. PICHOT, N. SIBELET et JJ. LACOEUILHE (éd. Sci.), éd. CIRAD, pp. 286-298.

Patate douce

- CLARK C. A. and MOYER J. W. (1988). *Compendium of sweet potato diseases*, American Phytopathological Society, Saint Paul (USA).
- KAY D. E. and GOODING E.G.B. (1987). *Root crops*, Tropical Development and Research Institute, London.
- MICHELLON R. (1984). *La patate douce (Ipomoea batatas) : rationalisation de sa culture à la Réunion*. Agronomie Tropicale (FRA) 39, 76 - 80.
- REBOUL J. L. (1985). *Travaux d'expérimentation conduits sur la patate douce en Polynésie française*. In « Symposium ISTRC. » (C.-B. IRAT, ed.), p. 19. International Society for Tropical Root Crops - Ibadan (NGA), Gosier (GLP).

Pomme de terre

- CIP F. (1995). *La pomme de terre dans les années 90. Situation actuelle et perspectives de l'économie mondiale de la pomme de terre*, Food and Agriculture Organization of the United Nations., Rome (ITA).
- GOVINDEN N., JULIEN M. H. R., HUNT G. L. T. and AUTREY L. J. C. (1990). *Production, post-harvest technology and utilization of potato in warm tropics*, p. 184. Mauritius Sugar Industry Research Institute International Potato Center, African Potato Association, Maurice.
- KAY D. E. and GOODING E. G. B. (1987). *Root crops*, Tropical Development and Research Institute, London.
- RAMAN K. V. (1988). *Lutte intégrée contre les insectes nuisibles de la pomme de terre dans les pays en voie de développement*. CIP Circular (PER) - Centro Internacional de la Papa 16, 1 - 9.
- ROUSSELLE P., ROBERT Y. et CROSNIER J. C. (1996). *La pomme de terre ; production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*, INRA, Paris.

Sagoutier

- FLACH M., 1997. « *Sago palm : Metroxylon sagu Rottb.* », Rep. No. 13. fao : IPGRI, Rome.
- RAUWERDINK J. B., 1986. *An essay on Metroxylon, the Sago palm*. Principes 30, 165-180.
- WHITMORE T. C., 1973. « *Palms of Malaya*, » Oxford University Press, London.

Taro et macabo

- A taro production and business guide for Hawaii growers*. 1997. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii Press, Honolulu
- WANG, J. (ed) 1983. *Taro: a review of Colocasia esculenta and its Potentials*. University of Hawaii Press. Honolulu, Hawaii. 400 p.
- MANRIQUE L.A. 1995. *Taro, Production Principles and Practices*. Manrique International Agrotech, Honolulu, Hawaii 216p.

Les légumineuses à graines

À partir des contributions de A. Caburet et C. Hekimian Lethève

- > Le haricot
- > Le niébé
- > Le pois d'Angole
- > Le pois du Cap
- > Le voandzou

LE HARICOT

Phaseolus vulgaris

Français : haricot vert, haricot commun

Anglais : common bean, french bean

Espagnol : fríjol, judía, alubia, habichuela, poroto

Portugais : feijoeiro

Famille des Fabaceae

● Les utilisations du haricot

Originaire d'Amérique centrale et du Sud, le haricot a été domestiqué au Mexique, au Pérou et en Colombie, puis introduit en Europe par Christophe Colomb. Il est cultivé dans les pays tempérés, tropicaux et subtropicaux pour l'alimentation humaine. Les jeunes gousses sont mangées vertes entières (haricots verts) ; les feuilles peuvent être consommées comme épinards et les graines séchées constituent un aliment très important. La tige est utilisée comme fourrage.

● La plante

Le haricot est une plante grimpante ou buissonnante, annuelle, légèrement pubescente. Les formes volubiles mesurent de 2 à 3 m de hauteur alors que les formes naines atteignent 20 à 60 cm. Les tiges sont angulaires ou cylindriques et les feuilles, trifoliées et habituellement ovales, mesurent entre 7,5 et 14 cm de long sur 5,5 à 10 cm de large et sont alternées. Le pétiole peut mesurer jusqu'à 15 cm. La racine pivotante est bien développée et complétée par des racines adventives latérales. Les inflorescences, axillaires ou terminales, sont blanches, roses ou pourpres.

La gousse mesure 20 cm de long, est étroite et souvent courbe. Verte lorsqu'elle est immature, elle devient ensuite jaune, rougeâtre ou pourpre. Les graines varient par leur poids (0,15 à 0,6 g), leur couleur (dominantes noir, marron, violet, rouge ou blanc) et leur forme (réniforme, cylindrique ou ovoïde). Le jeune plant a une germination épigée. Deux feuilles simples et opposées sortent d'abord, puis des feuilles alternes et trifoliées.

Les haricots à croissance déterminée possèdent un axe central de cinq à neuf nœuds, et deux à plusieurs branches qui démarrent à partir des nœuds basaux. Les haricots à croissance indéterminée possèdent un axe central avec douze à quinze nœuds et même plus dans des types grimpants. On peut classer les haricots en quatre grands types en fonction du type de croissance, de la production de nœuds après la floraison, de la hauteur des plants et de la tendance grimpante :

- > *les nains à croissance déterminée* : le bourgeon terminal sur la tige principale est fertile et la plante ne produit pas de nœuds sur la tige principale après floraison (type court, sans tuteur ou buissonnant). La durée de croissance est brève ;
- > *les nains à croissance indéterminée* : le bourgeon terminal est végétatif sur la plupart des tiges qui continuent à produire des nœuds après la floraison, avec des rameaux érigés à partir des nœuds basaux ;
- > *les rampants à croissance indéterminée* : la production de nœuds est modérée à importante après floraison sur la tige principale, avec un nombre variable de rameaux qui naissent à partir des nœuds les plus bas. Le port est rampant ou en forme de cône sur un support ;
- > *les grimpants à croissance indéterminée* : la production de nœuds sur la tige principale après floraison est élevée, avec des rameaux faiblement développés comparés à la tige principale et une capacité modérée à forte à grimper sur un support.

Les haricots sont également classés en croisant le critère de port et celui d'utilisation : haricots nains mange-tout à gousse verte, haricots nains à filet, haricots à rame mange-tout, haricots à grains. La destination (haricot vert, haricot mange-tout ou haricot grain) est liée à la présence de fils et de parchemin dans la gousse.

Le haricot commun est à l'origine une plante de jours courts, mais les variétés sélectionnées en milieu tempéré fleurissent même en jours longs (seize heures). Les photopériodes longues et les températures élevées peuvent agir sur le type de développement, en transformant des variétés indéterminées à entre-nœuds courts en variétés volubiles.

La plupart des haricots communs croissent dans un spectre étroit de températures (entre 17,5 et 25°C, et de préférence entre 20 et 22,5°C). Dans les régions tropicales, on trouve le haricot à des altitudes élevées (environ 1 000 m). Le haricot commun est sensible au gel nocturne. Il nécessite des pluies modérées, bien distribuées au cours du cycle (300 à 400 mm d'eau), mais une période sèche est préférable au moment de la récolte. La sécheresse et l'excès d'eau lui sont néfastes.

Le haricot s'adapte à de nombreux types de sols : légers à moyennement lourds ou tourbeux, avec un pH neutre et un bon drainage. Il est sensible à la salinité. Les sols les plus propices sont les colluvions, les sols allophanes bien pourvus en matière organique et les vertisols magnésiens. Les sols ferrallitiques acides sont les moins appropriés.

● La culture

La propagation classique s'effectue par semis, mais on peut facilement réaliser un bouturage. La dose de semis varie en fonction de la taille des graines et du type de haricot : de 120 kg/ha pour des variétés naines à 60 kg/ha pour des variétés grimpantes (le poids de 1000 graines varie de 200 à 600 g).

La densité du peuplement végétal en culture pure est de 15 à 40 plantes/m² pour des variétés naines et de 7 à 30 plants/m² pour les variétés grimpances.

La distance entre les plants varie en fonction des cultivars, mais globalement on préconise pour des variétés buissonnantes en culture pure 30 à 45 cm entre les lignes et 30 cm entre les plants, et pour des variétés grimpances un semis en poquet de quatre à six graines dans des buttes espacées de 50 cm sur la ligne et 1 m entre les lignes. La profondeur de semis varie de 3 à 6 cm. À une température du sol de 16°C, le plant apparaît une semaine environ après le semis.

La date de floraison varie en fonction du cultivar, de la température et de la photopériode ; elle est généralement comprise entre vingt-huit et quarante-deux jours après le semis. L'auto pollinisation est fréquente et la pollinisation croisée rare. La période de remplissage des grains dure de vingt-trois à cinquante jours et la maturité complète des graines sèches est atteinte entre soixante-cinq et cent cinquante jours après le semis.

La culture à plat est préférable à la culture en billons car des interventions sur le sol risquent de blesser les racines, ce qui entraîne une augmentation de la fréquence des maladies. Le haricot commun peut être irrigué dans les régions semi-arides. Une irrigation par aspersion est préférable à une irrigation par submersion. La rotation culturale est nécessaire pour limiter la propagation des maladies.

Pour la production de haricots grain, les meilleurs résultats sont obtenus quand la maturation et la récolte ont lieu en période sèche. La production de haricot vert peut se pratiquer toute l'année. En saison sèche, sous irrigation, les variétés naines sont plus adaptées, alors qu'en saison des pluies les variétés à rame, dont le feuillage est hors de portée de contamination par les pathogènes, sont préférables.

Les fontes de semis provoquées par un *Phyium* peuvent être évitées par un traitement fongicide des semences. Le développement des attaques de *Sclerotium rolfsii* pourra être contrarié par des apports d'engrais azoté soluble. La lutte contre *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*, qui provoque des dégâts sur le collet et les racines, passe par des successions où le haricot ne revient pas trop souvent et un travail du sol favorisant le développement du système racinaire.

Une maladie fongique (anthracnose) et deux maladies bactériennes (graisses à *Xanthomonas* et à *Pseudomonas*) sont transmissibles par les semences. On peut y remédier par l'utilisation de semences saines, le traitement des semences contre l'anthracnose, la réalisation de traitements fongicides ou bactéricides sur la culture et par l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes. Les maladies foliaires de fin de cycle sont en général sensibles à des applications de bénomyl et des variétés tolérantes ou résistantes ont été identifiées pour certaines d'entre elles. La lutte contre les maladies à virus (mosaïque commune, mosaïque jaune, mosaïque du haricot) nécessite l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes.

Les dégâts d'insectes (mouches mineuses, coléoptères, chenilles, cicadelles...) sur l'appareil végétatif peuvent être contrôlés par des applications d'insecticides. Bien que ce soit au champ que les bruches pondent leurs œufs sur les gousses en maturation, c'est en général après récolte que les grains sont traités par poudrage d'insecticide, par fumigation ou par enrobage avec de l'huile.

En Europe et aux Etats-Unis, les haricots nains et buissonnants prédominent. Ils sont cultivés en plein champ et, pour des cultures intensives, on peut atteindre des rendements de 1 000 à 3 000 kg/ha.

En Amérique latine et aux Antilles, 75 à 80 % des haricots sont plantés en association, généralement avec du maïs. Les rendements en culture non fertilisée sont de l'ordre de 500 kg/ha et peuvent être doublés par fertilisation et réalisation de traitements fongicides.

● **La récolte et les opérations post-récolte**

La récolte des haricots verts s'effectue avant que les gousses ne soient complètement mûres. La récolte commence sept à huit semaines après le semis, pour les cultivars précoces. Les gousses sont ramassées tous les trois ou quatre jours. Le nombre de récolte est supérieur pour des variétés grimpantes. Les haricots verts fraîchement cueillis sont sensibles à la dessiccation et aux moisissures.

La production de haricots verts en Afrique est majoritairement expédiée vers l'Europe. Pour l'expédition, on utilise des emballages en polyéthylène aéré qui permettent de maintenir une humidité relative de 95 à 100 %. Le stockage a lieu entre 5 et 8°C. L'utilisation d'avions frigorifiques constitue un des facteurs limitant le commerce de cette culture quand les transports aériens sont saturés. Si la production est trop éloignée des marchés et des aéroports, la transformation en conserve est conseillée.

Les haricots secs sont récoltés dès que la majorité de gousses sont mûres et ont changé de couleur. Certains cultivars ont les gousses qui éclatent. Habituellement, les plantes entières sont arrachées au moment de la récolte puis les graines sont séparées des parties végétatives par battage.

● **La production actuelle et les perspectives**

La production de *P. vulgaris* constitue 95 % de la production mondiale de haricots. Moins de 5 % de la production totale provient de trois autres espèces de *Phaseolus*. 30 % de la production provient de l'Amérique tropicale. Le Brésil est le plus gros producteur.

LE NIÉBÉ¹

Vigna unguiculata (L) Walp- Syn. : *Vigna sinensis*

Anglais : cowpea

Espagnol : caupí, chícharo de vaca

Portugais : feijão caupi, feijão macássar

Famille des Fabaceae

● Les utilisations du niébé

Le genre *Vigna* est d'origine asiatique. L'espèce *Vigna unguiculata* (L) Walp regroupe les anciennes espèces *Vigna unguiculata*, *V. sinensis*, *V. sesquipedalis*. Elle est cultivée sur plus de neuf millions d'hectares, dans toutes les zones tropicales, dans le bassin méditerranéen et également aux Etats-Unis.

Dans les zones tropicales, le niébé est surtout cultivé de manière traditionnelle, en association avec d'autres cultures (céréales essentiellement). En Afrique, où il est la légumineuse la plus consommée, il est cultivé pour ses graines. On procède généralement à un trempage qui permet d'enlever les téguments avant de procéder à la cuisson. On préfère, en général, les variétés à graines blanches et grosses, dont la cuisson est la plus rapide. En Afrique de l'Ouest, les graines sont parfois réduites en farine pour fabriquer une pâte à beignets.

Tableau 1. Composition des graines mûres de niébé

Protéines	24,8%
Matière grasse	1,9%
Cellulose	6,3%
Glucides	63,6%
Thiamine	0,00074%
Riboflavine	0,00042%

Le niébé est parfois utilisé comme fourrage (en Inde par exemple) ou cultivé pour un usage textile (cultigroupe textilis). Les feuilles et les jeunes pousses peuvent être consommées en épinards. Les gousses sont parfois mangées en vert. Les fanes peuvent être utilisées comme fourrage. Leur valeur fourragère est de 0,45 UF/kg et 100 à 200 g MAD/kg.

● La plante et son environnement

● Les caractéristiques morphologiques

C'est une plante herbacée annuelle autogame, à port rampant, érigé ou volubile selon les cultivars, les conditions de température et de photopériode. La germination est épigée. Les deux premières feuilles sont opposées, les suivantes sont alternes, pétioles et trifoliées. Chaque nœud de la tige porte trois bourgeons axillaires et deux stipules prolongées sous l'insertion, caractéristiques de l'espèce.

¹ Cf. chapitre 522.

Les gousses sont cylindriques, renflées à l'emplacement des grains, de taille et de pigmentation variable, pendantes ou dressées. Le cultigrroupe *sesquipedalis*, volubile, présente des gousses très longues (jusqu'à 50 cm), charnues, à grains espacés.

Les grains présentent une grande variété de colorations (unis, à œil, bicolores, tachetés...) et de taille. C'est en Afrique qu'on trouve la plus grande variabilité. Les variétés commercialisées au niveau international par les États-Unis sont à œil noir (*black-eye beans*).

Les fleurs sont également de couleur variable : blanches, jaunâtres, bleu pâle, rose, violet.

● Les cultivars

Le critère de différenciation essentiel des variétés est la sensibilité ou non à la photopériode. On distingue ainsi trois groupes :

- > *un groupe photo-indépendant tardif*, cultivé essentiellement dans les zones les plus proches de l'équateur. La floraison est échelonnée au cours de la saison culturale, à partir de nœuds éloignés de la tige principale. Les plants sont le plus souvent volubiles ;
- > *un groupe photo-indépendant précoce*, cultivé dans les zones de latitude élevée, à port érigé. La floraison a lieu à partir des premiers nœuds de la tige principale et donne une production groupée, récoltable au bout de deux mois ;
- > *un groupe photosensible*, cultivé en Afrique soudano-sahélienne en association avec le sorgho et le mil, à port généralement rampant. Ces variétés fleurissent lorsque la longueur du jour décroît en dessous d'un certain seuil.

Les critères de sélection du niébé sont multiples : acceptabilité des grains (dimension, couleur, texture tégumentaire), adaptation aux contraintes biotiques (maladies et ennemis) et adaptation aux contraintes abiotiques : sécheresse, chaleur, carences en azote et en phosphore, acidité et toxicité aluminique des sols). Les critères de productivité sont ajustés en fonction des systèmes culturaux.

Les principaux centres de sélection

Ce sont :

- l'ISRA, au Sénégal, qui travaille actuellement sur la tolérance à la sécheresse ;
- l'ITA, au Nigeria, qui a mené et mène des sélections de lignées adaptées aux systèmes de cultures multiples. Il travaille également sur la résistance multiple aux maladies et aux ravageurs (foreuses des gousses, fontes des semis, bruches) ainsi que sur la résistance à *Striga gesnerioides* et à *Alectra vogelii*. Le défi majeur est actuellement la création de variétés plus résistantes aux ravageurs des gousses et des graines. L'ITA dispose d'une collection de plus de 15 000 cultivars.

Les variétés disponibles actuellement viennent de ces deux centres et des États-Unis.

● L'écologie du niébé

Une température de 8 à 11°C est nécessaire à tous les stades du développement du niébé. Le gel lui est fatal. La température optimale se situe autour de 28°C. L'intérêt majeur de *V. unguiculata* par rapport au haricot commun est sa tolérance à la chaleur, qui le fait préférer au haricot lorsque les températures maximales atteignent 35°C.

La pluviosité annuelle de l'aire de culture varie de 600 à 900 mm/an. Les besoins en eau de la culture varient selon la longueur du cycle et le climat : pour un cycle de soixante-quinze jours, à Bambey (Sénégal), les besoins sont de 370 mm ; pour une durée de végétation supérieure à quatre mois, les besoins en eau sont de 970 mm en culture irriguée de saison sèche au Burkina-Faso.

● La culture

Les techniques culturales dépendent du mode de culture (traditionnel en association, culture pure mécanisée ou non...) et du cultivar. Avec les nouvelles variétés précoces à port érigé peu sensibles au photopériodisme, on préconise la culture pure.

Les graines, bien que très sensibles aux attaques d'insectes, se conservent deux à trois ans, si elles sont dans un local aéré et frais. Les semences peuvent être traitées avec un mélange de thirame à 25 % et de dieldrine à 35 % (300 g de produit pour 100 kg de semences).

La profondeur du semis varie de 2 à 5 cm. En culture pure, on peut recommander des écartements de 80 à 90 cm entre les lignes et une densité sur la ligne de douze à quinze grains par mètre.

Contrairement au haricot, le niébé est assez indifférent aux apports azotés. 100 kg de graines exportent 5 kg de N ; 1,7 kg de P₂O₅ ; 4,8 kg de K₂O ; 0,4 kg de S ; 1,6 kg de CaO et 1,5 kg de MgO.

Pour une variété à cycle de soixante-quinze jours, la parcelle doit être maintenue propre jusqu'au quarantième jour de végétation pour obtenir un rendement correct. Les problèmes liés aux plantes parasites (*Striga gesnerioides*, *Alectra vogelii*) sont importants en zone sahélienne.

Des traitements insecticides à base de pyréthriinoïdes permettent de réduire la pression parasitaire fréquemment forte à tous les stades de végétation. En effet, le niébé est victime de ravageurs à tous les stades de croissance : nématodes sur racines, aphides, cicadelles, galeruques et mouche du haricot sur plantules et organes végétatifs, thrips sur les fleurs, foreuses des gousses et bruches sur les graines (*Callosobruchus maculatus*, *Bruchidius atrolineatus*).

En conditions de culture fraîche ou humide, le niébé est sensible à la fonte des semis, à l'anthracnose, la rhizoctoniose, la fusariose, la pourriture radiculaire et la nécrose du collet, aux cercosporioses, à la rouille, la septoriose, la graisse et aux viroses.

● La récolte et la conservation

Les rendements potentiels sont de 100 à 400 kg/ha sans intrant et de 800 à 3 000 kg/ha avec intrants. La conservation des récoltes se fait traditionnellement sous forme de grains ou de gousses dans des greniers où les dégâts des bruches sont importants.

Afin de limiter ces dégâts, un traitement des graines à base de deltaméthrine semble efficace. Un traitement des graines de niébé avec de la poudre de graines de neem (*Azadirachta indica*), à sec ou en solution aqueuse, a donné de bons résultats expérimentaux. Des plantes insecticides sont traditionnellement utilisées au Burkina Faso pour le stockage des grains. Des recherches en lutte biologique contre les bruchidés n'ont pas abouti.

● La production actuelle

La production mondiale de graines a été en 2000 de l'ordre de trois millions de tonnes. Les principaux producteurs en 2000 sont le Nigeria (plus de deux millions de tonnes) et le Niger (270 000 tonnes).

LE POIS D'ANGOLE²

Cajanus Cajan (L.) Millsp./ Huth - Syn. : *Cajanus indicus* Spreng.

Français : pois d'Angole, pois de bois (Guadeloupe), pois Congo (Haïti)

Anglais : pigeon pea, congo pea

Espagnol : guandul, frijol de pala

Portugais : feijão guandu

Famille des Fabaceae

● Les utilisations du pois d'Angole

L'essentiel de la production (90 %) est réalisé dans le sous-continent indien. D'autres pays ont cependant des productions significatives : le Kenya, l'Ouganda, le Malawi, Porto-Rico et la République Dominicaine. Dans les autres pays, le pois d'Angole est cultivé sur de petites surfaces ou dans des jardins familiaux.

En production traditionnelle, une bonne part de la récolte est vendue sur les marchés en gousses vertes contenant des grains à écosser. Les graines mûres contiennent 15 à 30 % de protéines. Bien que faiblement commercialisée, cette plante est la cinquième légumineuse par son importance au niveau mondial.

C'est une espèce bisannuelle, le plus souvent exploitée en culture annuelle. Ses grains et ses gousses sont consommés comme légume, son feuillage est utilisé comme fourrage.

² Cf chapitre 522.

● La plante

C'est un arbuste de 2 à 4 m de haut avec des feuilles à trois folioles et un tronc qui peut atteindre 5 cm de diamètre. Les fleurs sont bisexuées et autogames. La plante est photopériodique. Il existe deux groupes variétaux :

- > les variétés *bicolor*, à fleurs jaunes et rouges, à gousses de quatre à cinq grains, pouvant vivre plusieurs années ;
- > les variétés *flavus*, à fleurs jaunes, à gousses courtes (trois grains) et à floraison précoce, cultivées en plante annuelle. Ces variétés sont moins sensibles au photopériodisme.

Il existe des types intermédiaires issus de croisements entre ces deux groupes.

Les programmes de sélection

Le pois d'Angole a fait l'objet de programmes de sélection à Trinidad (University of West Indies) et en Inde (ICRISAT – Hyderabad). C'est l'ICRISAT qui est chargé de la collection mondiale. Des variétés résistantes à la fusariose ou aux chenilles (*Helicoverpa*) ont été sélectionnées, ainsi que des variétés à cycle court (ICRISAT : ICPL 87).

Les capacités de fixation de l'azote de *Cajanus cajan* ainsi que son enracinement profond en font une espèce améliorante pour les sols. Il a été constaté des apports de 40kg d'azote à l'hectare par une culture de pois d'Angole. Pour que la racine pivotante puisse s'enfoncer profondément dans le sol, il faut cependant que celui-ci soit suffisamment meuble. Le pois d'Angole s'adapte à une large gamme de sols et supporte très bien les vertisols. Il est souvent cultivé sur des sols très pauvres, tolère bien la salinité et l'alcalinité, mais pas une acidité excessive (pH < 5).

Cajanus cajan se développe correctement dans des climats à saison des pluies de cinq mois ou plus ; il peut produire avec 1 000 à 2 000 mm/an, craint l'eau stagnante et l'excès d'humidité.

Le pois d'Angole est souvent associé à des céréales (maïs, sorgho). Son implantation se fait par semis en poquets de trois à quatre grains et en lignes espacées de 1,5 à 2 m, avec des écartements de 40 à 50 cm sur la ligne. Le développement végétatif démarre lentement et s'accélère deux à trois mois après le semis. La floraison intervient entre 56 et 210 jours après le semis, celle-ci étant accélérée en jours courts. La récolte est réalisée 180 à 280 jours après le semis.

Les principaux dégâts sont provoqués par des chenilles qui attaquent les grains immatures³. Une rouille (*Uredo cajani*), une fusariose vasculaire (*F. lateritum* f.sp. *cajani*), un *phoma* et des mosaïques jaunes transmises par des aleurodes sont également à redouter.

Des cultures de pois d'Angole destinées à l'exportation sont réalisées à Trinidad avec des techniques intensives : grâce à l'utilisation de variétés sélectionnées à floraison groupée et cycle court (140 jours) et des traitements insecticides, on obtient des rendements de 2 t/ha de grain sec. En Indonésie, des rendements de 3 à 4 t/ha sont obtenus en culture pure et il est possible d'atteindre 5t/ha dans des conditions optimales de croissance.

³ Aux Antilles ce sont : *Ancylostoma stercorea*, *Elasmopalpus rubidinellus*, *Heliothis virescens*.

En culture fourragère, la plante peut être exploitée en pâture ou par émondage tous les deux ou trois mois dès qu'elle est adulte. La productivité est de 1,5 à 3,5 t MS/ha par coupe et la valeur azotée est de 100 à 120 g MAD/kg de MS.

LE POIS DU CAP

Phaseolus lunatus L. - Syn. : *Phaseolus limensis* MACF.

Français : pois du Cap, haricot de Lima, pois savon, pois de souche

Anglais : Lima bean

Espagnol : frijol Lima, pallar

Portugais : feijão-vagem

Famille des Fabaceae

● Les utilisations du pois du Cap

Originaire d'Amérique centrale et du Sud, le pois du Cap s'est répandu en Afrique tropicale, en Asie du Sud-Est, en Amérique du Sud et dans les Caraïbes.

Phaseolus lunatus est cultivé pour ses grains, essentiellement consommés frais, plus fondants que ceux du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). Sur les marchés traditionnels, une bonne partie de la production est vendue en gousses vertes. Les grains contiennent à maturité 19 à 25 % de protéines. Certaines variétés contiennent un taux important d'acide cyanhydrique qui impose des méthodes de cuisson particulières.

● La plante

C'est une plante herbacée, comportant différents types : des types nains annuels et des types volubiles annuels ou pérennes, pouvant atteindre 2 à 4 m. Certains cultivars à petits grains sont photopériodiques (jours courts).

Les fleurs sont blanches et vert pâle. Les feuilles sont trifoliées. Les gousses mesurent 5 à 15 cm de long sur 1 à 2,5 cm de large. Elles contiennent selon les variétés deux à six graines ovoïdes, plates et de couleur variable : blanches, rouges ou panachées noir, rouge ou rose et blanc. Leur diamètre varie de 0,8 à 2,5 cm.

Le pois du Cap est adapté aux climats à faibles variations de température. Les graines ne germent pas en dessous de 16°C. Au-dessus de 30°C, la fécondation est perturbée. Les types à petits grains semblent plus adaptés aux températures élevées que ceux à gros grains.

Une pluviométrie annuelle de 900 à 1 500 mm convient bien au pois du Cap. Certains cultivars résistent à la sécheresse et une période sèche est bénéfique au moment de la maturation des graines.

Ce *Phaseolus* demande un sol bien drainé et un pH entre 6 et 7, mais il peut se développer sur des sols acides.

● La culture

Les grains sont semés en poquets de trois à cinq graines, entre 1 et 3 cm de profondeur.

Les espacements pour les types nains sont de 60 à 90 cm entre les lignes, et de 20 à 30 cm sur la ligne ; pour les types volubiles, ils sont de 75 à 90 cm entre les lignes et de 30 à 45 cm sur la ligne.

Un mildiou (*phytophthora phaseoli*) provoque de graves dégâts dans les zones les plus fraîches. Le pois du Cap est très sensible aux virus : mosaïque du concombre et mosaïque dorée. Pour les cultivars précoces, la récolte a lieu 80 à 110 jours après le semis. Pour les cultivars à gros grains, plus tardifs, la récolte débute 180 à 210 jours après le semis. Les rendements varient de 400 à 1 500 kg/ha de grain sec en culture traditionnelle. Ils peuvent atteindre 3t/ha aux Etats-Unis.

LE VOANDZOU

Vigna subterranea (L.) Verdc - Syn. : *Voandzeia subterranea* Thou. ex DC

Français : voandzou, pois de terre, pois bambara, pistache malgache

Anglais : bambara groundnut, bambara bean

Espagnol : guisante de tierra

Portugais : mancarra

Famille des Fabaceae

● Les utilisations du voandzou

Originaire d'Afrique (Nigeria, Cameroun, République centrafricaine...), le voandzou est actuellement répandu en Afrique tropicale, dans l'océan Indien, en Asie (Inde essentiellement), et en Amérique latine (Brésil).

Les graines de voandzou sont consommées bouillies ou frites. Elles servent à confectionner des galettes et des beignets et sont plus savoureuses avant la maturité complète. Leur composition est intermédiaire entre celle des légumineuses oléagineuses (soja) et celle des légumineuses amylacées (haricot, niébé) : 16 à 18 % de protéines, 50% de glucides, 6 à 8 % de lipides.

● La plante et son environnement

Le voandzou est une plante herbacée annuelle, à graines comestibles, enterrées comme celles de l'arachide. La plante mesure 20 à 30 cm de haut, ses feuilles sont trifoliées. Les fleurs sont blanc jaunâtre, jaunes ou rose rougeâtre ; elles sont bisexuées et autogames et s'enterrent dans le sol une fois fécondées. Les gousses de forme ovoïde ne contiennent qu'une ou deux graines de 8 à 14 mm de diamètre, plus riches en protéines que celles de l'arachide. L'ITA dispose au Nigeria d'une collection importante de cultivars locaux.

Le voandzou est cultivé jusqu'à 1600 m d'altitude. C'est une plante de jours courts. Les températures moyennes optimales pour sa croissance sont de 20 à 28°C. Le voandzou demande une pluviosité modérée, régulièrement répartie du semis à la floraison. Bien que supportant une pluviosité annuelle de 600 à 750 mm, il produit davantage entre 750 et 900 mm.

● La culture

Les sols doivent être bien drainés. Un pH de 5 à 6,5 lui convient très bien en sol légèrement sableux.

Le voandzou est souvent cultivé en association avec d'autres cultures. La durée du cycle de culture varie, selon le géotype et dans les conditions optimales de température et de longueur de jour, de 90 à 170 jours. Il est recommandé de traiter les graines au thirame avant la plantation (fongicide).

Les densités en culture pure peuvent atteindre 29 plants/m² dans des conditions optimales d'alimentation minérale et hydrique. En général, le voandzou ne reçoit pas de fertilisation spécifique.

Le voandzou est très peu sujet aux maladies et résiste bien aux ravageurs ; il est le plus souvent cultivé en association avec d'autres plantes. On peut toutefois citer la maladie des taches foliaires (due à un *phoma* et un *phomopsis*) et des bruchidés qui s'attaquent aux gousses en cours de stockage (*Callosobruchus maculatus* et *C. subinnotatus* en particulier).

La floraison démarre 30 à 35 jours après le semis et la maturité des graines est atteinte lorsque les parties aériennes commencent à jaunir et les feuilles à tomber ; le relief de la coque tend à s'effacer et des taches brunes apparaissent sur ses côtés. La récolte est semblable à celle de l'arachide (arrachage des plants avec une houe ou une souleuse). Plus de la moitié des gousses restent dans le sol et doivent être récupérées manuellement. Les gousses sont ensuite séchées au soleil avant d'être stockées.

Les rendements varient considérablement. Dans les zones tropicales semi-arides, les rendements sont de l'ordre de 650 à 850 kg/ha de graines sèches. Le voandzou a un potentiel de production important en conditions de culture optimales (4 t/ha) et pousse dans des conditions difficiles où l'arachide et le niébé ne produisent rien.

Le stockage se fait le plus souvent en gousses. À température ambiante, les graines se dégradent rapidement, limitant la durée du stockage. Elles se conservent bien à basse température.

● La production actuelle

La production mondiale a été en 2000 de 41 000 t (données FAO), essentiellement réparties entre le Burkina Faso (22 000 t) et le Mali (19 000 t). La culture est purement traditionnelle, peu connue et mal valorisée.

Bibliographie générale sur les légumineuses à graines

- BORGET M. 1989. *Les légumineuses vivrières tropicales*, Maisonneuve et Larose, Paris.
- DALY P., DE BON H., and DENOYES, B. 1986. *Les cultures maraîchères et vivrières en Martinique* - Notes techniques. CIRAD-IRAT, Fort de France.
- MESSIAEN C.-M., 1998. *Le potager tropical*, PUF Coll. Techniques vivantes.
- PLANT RESOURCES OF SOUTH-EAST ASIA (PROSEA), *Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Majors commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables*. N° 1-4, 5(1), 6-8, CD Rom, Wageningen, 1997.
- TINDALL H. D. 1983. *Vegetables in the tropics*, Macmillan International College Edition, London.

Bibliographie sur des espèces spécifiques

Le haricot

- DE BON H., DALY P. et PARFAIT F. *Les travaux de l'irat aux Antilles sur le haricot (Phaseolus vulgaris L.)*, IRAT-CIRAD, mission de Martinique, Bulletin agronomique Antilles Guyane, octobre 1990, n° 10, pp. 26-29.
- MESSIAEN C.-M., *Le potager Tropical*, PUF Coll. Techniques vivantes, 1998.

Le niébé

- DABIRE C., 1992, *Les méthodes traditionnelles de protection des stocks de niébé au Burkina Faso*. in Sahel PV Info (Mali), Volume 49, p. 7-13.
- Fiche technique : Conservation du Niébé avec l'huile de Neem*, 1995, PROJET BÉNINO-ALLEMAND PROTECTION DES VÉGÉTAUX SPV/GTZ, Porto-Novato, 20 p.
- Fiche technique : Augmenter le rendement du niébé avec le traitement insecticide*, 1996, PROJET BÉNINO-ALLEMAND PROTECTION DES VÉGÉTAUX SPV/GTZ, Porto-Novato, 43 p.
- HUIGNARD J.; MONGE, J.P., 1994, *Lutte biologique contre les coleoptères bruchidae ravageurs du niébé (Vigna unguiculata) dans les systèmes de stockage en Afrique de l'Ouest* in Annales ANPP, volume 1, p. 331-340.
- NDIAYE M., 1992, *Le niébé* in BOSCH, P.M.; DOLLÉ, V.; GARIN, P.; YUNG, J.M., *Le développement agricole au Sahel - Recherches et techniques*, CIRAD, volume 2, p. 89-102, Collection Documents systèmes agraires.
- PASQUET R.S.; BAUDOIN, J.P., 1997, *Le niébé* in CIRAD, ORSTOM, *L'amélioration des plantes tropicales*, Paris CIRAD, pp. 483-505, Coll. Repères.
- STEELE, W.M.; ALLEN D.J.; SUMMERFIELD R.J., 1985, *Cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.)* in SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H., *Grain Legume Crops*, London Collins.

Le pois d'Angole

- BETTENCOURT E., KONOPKA J., and DAMIANA A. B. (1989). *Food Legumes. 1. Arachis, Cajanus, Cicer, Lens, Lupinus, Phaseolus, Pisum, Psophocarpus, Vicia and Vigna* In «Directory of Germplasm Collections - IBPGR (ITA)». Rome (ITA) : IBPGR, 1989. - n. 1, 190 p.
- NENE Y. L., D. HALL S., and SHEILA V. K. (1990). « *The pigeonpea*, » CAB International.
- ONIM J. F. M. (1986). *Sélection du pois cajan pour la résistance aux maladies et aux ravageurs*. In «Etude FAO : Production végétale et protection des plantes (ITA)». Rome (ITA) : FAO, 1986. - n. 55, pp. 197-216.
- REED W., LATEEF S. S., SITHANANTHAM S., and PAWAR, C. S. (1989). *Pigeonpea and chickpea insect identification handbook* In «Bulletin d'information - ICRISAT (IND)». Patancheru (IND) : ICRISAT, 1989. - n. 26, 119 p.
- WHITEMAN P. C., BYTH D. E., and WALLIS E. S. (1985). *Grain legume crops*. (R. J. SUMMERFIELD AND E. H. ROBERTS, eds.), pp. 658-695. Collins, London.

Le pois du Cap

- BAUDOIN J. P. (1991). *La culture et l'amélioration de la légumineuse alimentaire Phaseolus lunatus L. en zones tropicales.* Gembloux (BEL) : Faculté des Sciences Agronomiques, 1991. - 209 p.
- LYMAN J. M., BAUDOIN, J. P., and HIDALGO, R. (1985). *Lima Bean (Phaseolus lunatus L.)*. In «Grain Legume Crops» (R. J. SUMMERFIELD AND E. H. ROBERTS, eds.), pp. 485-519. Collins, London.

Le voandzou

- LINNEMANN, A. R., and AZAM-ALI, S. (1993). *Bambara groundnut (Vigna subterranea)*. In Pulses and vegetables (J. T. WILLIAMS, ed.), Chapman & Hall, London. pp. 13-58.
- LINNEMANN A. R., 1994. *Photothermal regulation of phenological development and growth in bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.)*, Wageningen.
- MBATA G. N., 1991. *The seasonal incidence and abundance of insect pests of stored bambara groundnuts*. In Séminaire régional IFS - CTA (CTA and IFS, eds.), CTA - Wageningen, Ouagadougou. pp. 452-459.
- SEREME P., 1991. *Amélioration de la culture du voandzou (Vigna subterranea (L.) Verdcourt) au Burkina Faso par la lutte contre ses principaux pathogènes*. In Séminaire régional IFS - CTA (CTA and IFS, eds.), CTA - Wageningen, Ouagadougou. pp. 23-28.

Les plantes oléagineuses

À partir des contributions de C. Hekimian Lethève,
A. Rouzière (CIRAD), R. Schilling (CIRAD) et B. Taillez (CIRAD)

- > L'arachide
 - > Le carthame (des teinturiers)
 - > Le cocotier
 - > Le palmier à huile
- > Le sésame
 - > Le soja
 - > Le tournesol

L'ARACHIDE¹

Arachis hypogaea L., groupe des légumineuses

Anglais : Groundnut (UK), Peanut (USA)

Espagnol : Mani

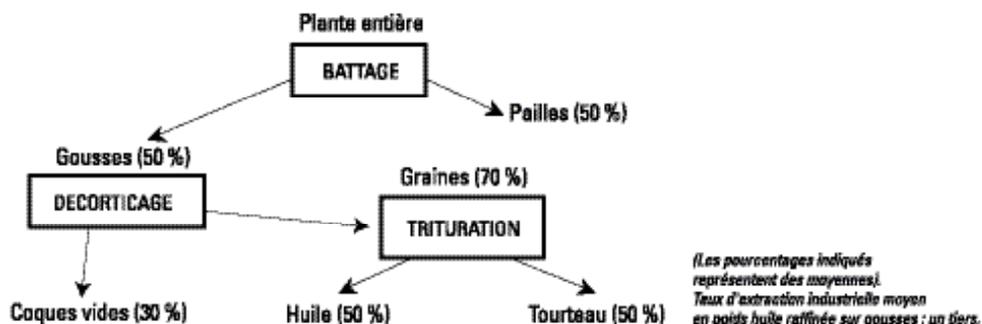
Portugais : Amendoim

Famille des Fabaceae (syn. Papilionacées)

● Les utilisations de l'arachide

L'arachide est consommée soit en graine, soit sous forme d'huile, soit sous des formes plus ou moins élaborées issues du marché de l'arachide de bouche et de confiserie : beurre, pâte, farine, confiserie, etc. Les sous-produits donnent lieu à des utilisations diverses :

- > fourrage pour les pailles ;
- > combustible, compost, panneaux d'agglomérés pour les coques vides ;
- > alimentation humaine ou animale pour les tourteaux.



➤ Figure 1 : Principales opérations de transformation et principaux produits et sous-produits

¹ Cf. chapitre 522.

● La plante et son environnement

● Les origines et la diffusion

L'arachide est originaire du bassin amazonien où sont localisées toutes les espèces du genre *Arachis*, parmi lesquelles seule *A. hypogaea* a été durablement domestiquée. Sa dissémination, à partir du XVI^e siècle, s'est faite en direction de l'Extrême-Orient sur l'axe espagnol Pérou-Philippines et, en direction de l'Afrique, sur l'axe portugais Brésil-côte ouest africaine. L'introduction au nord du Mexique aurait eu lieu postérieurement en provenance de l'Afrique.

La plante a ensuite progressivement couvert la totalité des zones tropicales à partir de deux centres de diversification secondaires : l'un en Afrique de l'Ouest et l'autre dans le Sud-Est asiatique. Les types variétaux exploités par la sélection arachidière sont issus de ces deux zones géographiques. Aujourd'hui, on compte une collection de plus de 15 000 variétés. La culture déborde très largement son aire d'origine, puisqu'on la retrouve jusqu'aux 40^e parallèles Nord et Sud et sur tous les continents lorsque les étés chauds permettent à la plante de boucler son cycle malgré la latitude élevée.

● La morphologie

L'arachide cultivée est une légumineuse annuelle de 30 à 70 cm de haut, érigée ou rampante. La partie aérienne est portée par une tige principale, toujours érigée et deux ramifications latérales primaires issues du collet de la plante. Les feuilles sont composées de deux paires de folioles elliptiques opposées au bout d'un pétiole inséré sur des ramifications alternes ou séquentielles.

Les fleurs jaunes ou orangées, papilionacées, prennent naissance à l'aisselle des feuilles. Elles flétrissent rapidement. La base de l'ovaire fécondé s'allonge pour former un pédoncule appelé gynophore qui s'enfonce dans le sol où se forme le fruit (gousse) composé d'une coque indéhiscente contenant une à quatre graines.

Le système racinaire pivotant permet d'explorer un volume de sol important. Il porte des nodosités fixatrices d'azote atmosphérique, caractéristiques des légumineuses, qui permettent à la plante d'enrichir le sol en azote lorsque les conditions sont satisfaisantes : les apports sont alors importants et ont un effet positif sur la céréale qui suit l'arachide dans la succession. Le bon fonctionnement de ces nodosités est commandé par divers facteurs, dont la présence active de bactéries fixatrices dans le sol.

La graine est non-dormante dans le groupe Virginia, dormante dans les groupes Spanish et Valencia (voir tableau 1). Elle lève au bout de trois à quatre jours. La plante a un développement végétatif limité jusqu'au début de la floraison, qui commence de vingt-cinq à trente jours après semis (JAS) et se poursuit tout au long du cycle, avec un maximum entre quarante et soixante JAS. 10 à 20 % des fleurs seulement donnent des gousses qui parviennent à maturité. Les gynophores émis dans la partie haute de la plante ne parviennent pas au sol et les dernières gousses formées ne sont pas mûres à la récolte. Diverses techniques culturales, comme le semis en poquets surbaissés et le buttage pratiqué au moment approprié, permettent d'améliorer dans une certaine mesure le rapport gousses/fleurs.

Dans les conditions optimales et en culture pluviale, l'arachide achève son cycle en quatre-vingt-dix jours (variétés hâtives), en cent vingt jours (semi-tardives) ou cent quarante jours (tardives).

● Le mode de reproduction et les ressources génétiques

L'arachide cultivée (*A. hypogaea*) est un hybride naturel stabilisé par doublement des chromosomes ($2n = 40$, allotétraploïde) à partir de deux parents sauvages non identifiés. On distingue deux sous-espèces et trois groupes variétaux correspondant aux types Virginia, Valencia et Spanish.

Tableau 1. Classification et principales caractéristiques de l'espèce *Arachis hypogaea*

Sous-espèces	<i>Hypogaea</i>	<i>Fastigiata</i>	
Variétés	<i>Hypogaea</i>	<i>Vulgaris</i>	<i>Fastigiata</i>
Types	Virginia	Spanish	Valencia
Port	Erigé/rampant	Erigé	Erigé
Ramification	Alternée	Séquentielle	Séquentielle
Fleurs sur tige principale	Non	Oui	Oui
Couleur feuillage	Vert foncé	Vert clair	Vert clair
Cycle	120-150 J	90 J	90 J
Dormance	Oui	Non	Non
Gousses (cavités)	2 cavités	2 cavités	3-4 cavités

La plante est autogame, la fécondation ayant lieu avant l'ouverture de la corolle. Les populations naturelles sont donc composées de types stables qu'il est possible d'isoler, de multiplier et de croiser entre eux : la diversité variétale actuelle est due essentiellement à l'action de l'homme (sélection). À signaler l'utilisation, à ce jour très limitée, d'autres espèces pour la production de fourrage (*A. pintoï*) ou comme plante de couverture (diverses espèces sauvages rampantes). Le matériel génétique sauvage (plus de soixante-dix espèces recensées) constitue un réservoir potentiellement intéressant pour l'identification de gènes utilisables en amélioration variétale, mais aucun croisement interspécifique ni aucune modification génétique artificielle n'a encore abouti à des variétés proposées sur le marché semencier.

L'évolution de la demande et les progrès de la sélection ont conduit à des modifications importantes du matériel végétal proposé :

- > passage des types rampants aux types érigés à fructification groupée ;
- > extension de variétés hâtives ou tolérantes à la sécheresse dans les zones exposées aux aléas climatiques ;
- > variétés résistantes à certaines maladies virales (rosette) et tolérantes à diverses maladies fongiques (rouille, cercosporiose) ;
- > variétés répondant aux normes du marché de l'arachide de bouche ;
- > variétés adaptées à la culture irriguée.

Les programmes de sélection en cours sont orientés sur l'amélioration sanitaire du produit, l'amélioration de sa valeur nutritive et la résistance aux prédateurs, aux maladies et aux stress abiotiques (salinité, acidité, ombrage).

Les principales variétés proposées aux producteurs ouest et centre africains, dont certaines ont été testées avec succès dans d'autres zones, sont citées avec leurs caractéristiques dans le tableau 2. Elles peuvent être fournies par le projet *Groundnut Germplasm*, placé sous l'égide de la FAO, opérant à partir du Sénégal, du Mali et du Niger. Sur un plan plus général, l'ICRISAT a mandat international sur la recherche arachidière, gère une collection mondiale et peut mettre du matériel végétal à la disposition des sélectionneurs.

Tableau 2. Caractéristiques des principales variétés multipliées en Afrique de l'Ouest

	Hâtivité < 100 j	Dormance	Tolérance sécheresse	Tolérance rosette	Décorticage > 70 %	Poids graines > 50 g	Aptitude bouche/confiserie
55-437	X		X		X		X
73-30	X	X	X		X		
47-10	X				X		X
Te 3	X		X				
Ts 32-1	X		X		X		
KH149A	X			X			
KH241D	X			X			
55-422		X			X	X	X
73-33		X	X		X	X	X
28-206		X			X		
69-101		X		X	X		
57-313		X			X		
RMP12		X		X	X	X	
GH119-20		X				X	X
756A		X				X	X
73-27		X			X	X	X
73-28		X			X	X	X
Fleur 11		X	X		X	X	X
Tamnūt 16		X		X	X	X	X

● L'écologie de l'arachide

● Le sol

Le sol doit être suffisamment meuble pour permettre la pénétration des gynophores (surtout entre 40 et 70 JAS) puis l'arrachage des gousses mûres. De plus, l'arachide requiert des sols bien drainés et aérés car les échanges respiratoires des gousses en formation sont élevés. Les sols à texture légère, meubles et perméables, en particulier les sols sableux, sont ceux qui conviennent le mieux. La culture d'arachide sur sols lourds et argileux est conseillée seulement si le recours à la mécanisation et l'irrigation au moment opportun est possible.

L'arachide est sensible à la salinité et à l'acidité des sols. Les sols très acides (pH inférieur à 5) ou déficients en CaO peuvent induire des toxicités aluminiques ou ferriques. L'acidité inhibe le développement des bactéries fixatrices d'azote, ce qui est décelable à l'aspect chlorotique du feuillage et à l'absence de coloration rouge à l'intérieur des nodosités.

● **La température et l'ensoleillement**

Les températures inférieures à 15°C et supérieures à 45°C ralentissent ou bloquent la croissance, l'optimum se situant entre 25°C et 35°C degrés. Les températures trop basses ou trop élevées, auxquelles on s'expose sous les climats tempérés et en contre-saison chaude ou froide dans les zones tropicales, ont pour effet de prolonger le cycle, voire de bloquer la germination ou le développement : des variétés de 90 jours, en Afrique de l'Ouest, mettent 130 à 150 jours pour parvenir à maturité dans le midi de la France.

L'arachide est peu sensible à la photopériode, mais les jours longs ont un effet positif sur la productivité : les semis précoces (lorsque la pluviométrie ou l'irrigation le permettent) sont donc à privilégier. Les déséquilibres se traduisent fréquemment par un rapport défavorable fanes/gousses, que l'on observe également en zone équatoriale et dans les cultures sous plantations d'arbustes, lorsque l'ensoleillement devient limitant.

● **Le régime hydrique**

L'arachide présente une sensibilité variable à la sécheresse : les besoins en eau sont élevés au moment de l'imbibition de la graine qui, une fois la germination amorcée, craint l'excès d'eau. La période de floraison-formation des gousses (30-70 JAS) correspond à une phase de sensibilité à la sécheresse, alors que la phase finale de maturation est favorisée par une sécheresse relative, des pluies à ce stade pouvant en outre provoquer des germinations sur pied chez les variétés non dormantes.

Une pluviométrie comprise entre 500 et 1 000 mm pendant la saison de culture permet généralement d'obtenir une bonne récolte, mais la bonne répartition des pluies, en fonction du cycle de la variété, est plus importante que le total pluviométrique : des rendements supérieurs à 1 t/ha en grande culture ont été obtenus au nord du Sénégal, sous 350 mm de pluies concentrées sur trois mois avec la variété hâtive tolérante à la sécheresse 55-437. L'irrigation d'appoint, en période de stress hydrique ou de sensibilité maximale, conduit souvent à une amélioration substantielle (y compris qualitative) de la production. L'utilisation de variétés tardives, à forte productivité, est alors préférable.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

La production arachidière mondiale est dominée par le secteur paysannal traditionnel qui assure plus de 85 % de la récolte brute. Le taux de transformation industrielle est faible (moins de 50 %) et le marché international, encore restreint, est axé sur deux filières différentes mais complémentaires : l'arachide de bouche, aux exigences qualitatives élevées et à fort revenu ; l'arachide d'huilerie et ses dérivés (tourteaux), moins rémunératrice, composée souvent (aux Etats-Unis par exemple) par les refus de l'arachide de bouche. Le degré d'ouverture sur un marché très sélectif constitue donc le principal critère de caractérisation et le principal facteur d'évolution des systèmes de culture.

Tableau 3. Les systèmes de culture arachidière : caractérisation et perspectives d'évolution

Caractérisation agro-économique	Diagnostics et perspectives d'évolution
<p>Autoconsommation dominante Rôle alimentaire direct important, culture pluviale, manuelle, majoritairement en association, pas de recours aux intrants onéreux et faible excédent commercialisable. Concerne les zones enclavées d'Afrique et du Sud-Est asiatique.</p>	<p>Enclavement, absence de débouchés Priorités d'action : Désenclavement - préparation du sol (outillage) - dispositif adapté de séchage, conditionnement, stockage à la ferme - introduction possible de variétés améliorées avec renouvellement périodique des semences.</p>
<p>Filière traditionnelle monétarisée Systèmes ouverts sur un marché local, évolution vers la culture pure et l'utilisation d'intrants, culture pluviale ou irriguée avec recours partiel à la traction animale. Situation dominante en Afrique, Inde, Sud-Est asiatique.</p>	<p>Systèmes très ouverts au progrès technique, à condition que soient maîtrisés les deux points sensibles de la filière : – en amont, l'amélioration variétale et l'accès à des semences de bonne qualité, – en aval, des conditions incitatives de commercialisation.</p>
<p>Ouverture sur le marché international – Systèmes paysannaux Systèmes paysannaux avec organisation de la filière : associations paysannes, accès aux intrants, crédit et commercialisation organisés, implication d'opérateurs agro-industriels locaux et internationaux Concerne certaines zones d'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Gambie) et Australe, Chine, Inde.</p>	<p>Situation très sensible aux changements structurels : libéralisation, désengagement de l'Etat. L'organisation de la filière est parfois encore en phase de redéfinition. La réorientation de la production vers l'arachide de bouche et le traitement industriel et artisanal des produits est souvent en cours, et nécessite un travail sur les aspects de qualité technologique et sanitaire et sur l'intensification (intrants, irrigation, critère «bouche»).</p>
<p>Ouverture sur le marché international – Systèmes mécanisés intensifs Situation caractéristique des pays développés, avec rente foncière élevée, forte consommation d'intrants et faible recours à une main-d'œuvre onéreuse. Orientation « bouche » exclusive (l'huilerie ne traite que les refus) avec quotas de production subventionnée: système des Etats-Unis (premier exportateur mondial).</p>	<p>Systèmes très sensibles à la nouvelle situation internationale qui expose les Etats-Unis à la concurrence des pays du Sud : l'accent est mis sur la réduction des coûts de production, sur l'élévation des normes de qualité (contrôle de l'aflatoxine) et sur les aspects diététiques (composition et teneur en acides gras, allergies...).</p>

Le mode de production des exploitations paysannes asiatiques et africaines est caractérisé par :

- > la culture manuelle éventuellement combinée avec la traction attelée ;
- > une faible consommation d'intrants onéreux ;
- > une stratégie de réduction du risque, dans le cadre de rotations ou d'associations diverses où dominent les céréales (sorgho, mil, maïs, riz).

La rusticité de la plante et sa plasticité lui valent d'être souvent reléguée sur des sols peu fertiles et dans des régions à pluviométrie limitante : les rendements sont alors inférieurs à une tonne par hectare en culture extensive. Dans ce contexte caractéristique des savanes sèches africaines, les points sensibles de la filière sont :

- > la disponibilité en semences, limitée par la fragilité et le faible taux de multiplication de la graine d'arachide ;
- > les aléas d'une commercialisation locale hasardeuse qui n'incite pas le producteur à intensifier sa production ni à consentir des efforts sur le plan de la qualité ;
- > les contraintes d'un marché international de plus en plus exigeant au plan des caractéristiques technologiques et sanitaires des produits.

L'arachide n'en présente pas moins de nombreux avantages et des perspectives intéressantes pour les petits producteurs et les économies des pays du Sud, sur différents plans :

- > *agronomique*, lié à l'introduction d'une légumineuse dans des rotations à forte dominante céréalière ;
- > *nutritionnel*, lié à un apport lipidique et protéinique substantiel dans des régimes alimentaires à très forte dominante glucidique ;
- > *économique*, lié à la diversité des produits arachidières susceptibles d'être auto-consommés ou vendus.

● Les itinéraires techniques

● La mise en place de la culture

On distingue trois opérations : la préparation des semences, la préparation du sol et le semis.

La préparation des semences

En milieu rural, les semences sont conservées ou achetées en coque, afin de conserver leur protection naturelle le plus longtemps possible. Le décorticage manuel est en général préférable au décorticage mécanique à l'aide d'appareils rudimentaires ou mal réglés, d'autant qu'il peut être effectué en morte saison par la main-d'œuvre familiale. Il faut prévoir dix à quinze kg de graines triées par jour et par personne. Il est recommandé de traiter ces semences avant le semis. La vérification de la qualité semencière peut être effectuée au moyen d'un test simple : germination sur sable humidifié et comptage des graines germées au bout de quatre jours. Un lot destiné à être utilisé comme semences doit présenter un taux de germination d'au moins 85 %.

La préparation du sol

Il faut choisir un terrain n'ayant pas porté d'arachide la saison précédente, brûler ou évacuer les débris végétaux et effectuer une façon culturale légère (passage croisé de houe) dès que le sol a été humecté par une pluie. Le sol est alors prêt à recevoir la semence. Le labour, pratiqué dans certaines situations (sol lourd, enherbement particulièrement vivace), est une opération rarement justifiée sur sol sableux : l'arachide y répond peu ou mal. Le billonnage est justifié sur les sols gravillonnaires, peu profonds, peu perméables et exposés au ruissellement.

La date et le mode de semis

La date de semis doit caler le cycle de la plante en fonction de la répartition prévisible des pluies et des autres paramètres climatiques, avec un impératif : semer le plus tôt possible en sol bien humide.

Lorsque la température est limitante, le semis peut avoir lieu si la température du sol atteint 20°C à quatre cm de profondeur pendant trois jours consécutifs (indicateur utilisé en Australie). En zone de savanes sèches ouest-africaines, où l'eau est le facteur limitant, le semis est effectué traditionnellement sur la première pluie de 20 mm postérieure au 30 juin. Les paysans ne sèment qu'une seule journée pour une pluie de 20mm et prolongent le semis de 24 heures par tranche supplémentaire de 10 mm. En régime unimodal, une pluviométrie utile de 400 mm/an répartis sur quatre mois

permet de cultiver les variétés hâtives (90 jours) ; les semi-tardives (120 jours) sont cultivées sous 600 à 900 mm en cinq mois, tandis que les tardives sont réservées aux zones à plus de 900 mm.

Le semis doit conduire à des écartements moyens de 60 x 15 cm (110 000 pieds/ha, 50-60 kg de graines/ha) pour les grosses graines de type Virginia et de 40 x 15 cm (170 000 pieds/ha, 50-60 kg de graines/ha) pour les petites graines de type Spanish ou Valencia. Le poids de coques nécessaire pour ensemencher un hectare ou valeur culturale, se situe entre 120 et 150 kg/ha, selon la variété et la qualité des semences.

Semoirs

La société SISMAR (Dakar) propose des semoirs monorangs à traction animale permettant à un attelage de semer un hectare en huit heures contre dix jours/ha pour le semis manuel. Une gamme de disques et de cuillers permet de s'adapter à divers calibres de graines de différentes cultures. Il existe des modèles plus élaborés (multirangs), ainsi que de plus simples (roues à godets matérialisant les trous de semis).

● **L'entretien**

Un ou deux sarclages ou un rebillonnage sont suffisants lorsque le sol a été préalablement labouré ou billonné. Lorsque l'arachide a été cultivée à plat sans labour (cas le plus fréquent), plusieurs interventions sont nécessaires.

Le premier sarclage est important car la jeune plante est très sensible à la concurrence des adventices ; il doit être effectué à la main sur la ligne, les autres sarclages étant limités à l'interligne. On prend bien garde, à partir du quarantième jour, à ne pas déterrer les gynophores. L'utilisation raisonnée d'herbicides de pré-levée, en combinaison avec le travail du sol, permet de retarder le premier sarclage qui correspond à une période de pointe du calendrier agricole, mais il demeure nécessaire d'ameublir le sol au moins une fois au cours du cycle.

Divers herbicides ont été testés et l'arachide présente une bonne tolérance aux herbicides de pré-levée (à base de métolachlor, de prométryne, de trifluraline), grâce à sa plantule vigoureuse et à son enracinement rapide et profond.

● **L'irrigation**

Ce mode de production coûteux est réservé à l'arachide de bouche d'exportation et à la production semencière. L'irrigation permet de cultiver l'arachide en saison sèche chaude : cycle de variétés hâtives entre février et mai ou de variétés semi-tardives entre février et juin dans l'hémisphère Nord. Elle débouche toujours sur une augmentation sensible de la production de gousses et une augmentation considérable de la production de fanes, ce qui constitue un appoint financier substantiel dans les périmètres irrigués ouest-africains et indiens. Dans les zones où l'irrigation est traditionnelle (sud-est asiatique), la priorité absolue est accordée à la céréale (riz généralement) ou à la culture dominante (tabac, maïs), l'arachide étant alors conduite en culture dérobée ou intercalaire avec des rendements moyens ou faibles.

Il est recommandé d'assurer un apport d'eau important aux phases critiques du développement : saturer le profil avant le semis, puis en période de forte floraison et de

formation des gousses ; ménager un léger déficit hydrique avant floraison, puis en fin de cycle afin d'assurer une maturation plus uniforme. La norme moyenne, en contre-saison et en zone sub-sahélienne, est de 4 000 à 6 000 m³/ha par aspersion et de 6 000 à 10 000 m³/ha par gravité.

● **La fumure**

Une fumure minérale annuelle légère NPK ou NP procure sur l'arachide une plus-value intéressante, encore augmentée par des apports organiques, de préférence sur la céréale cultivée en rotation. La fumure calcique est destinée à corriger l'acidité des sols et à améliorer la qualité technologique des semences et de l'arachide de bouche. Les doses et les formes d'apports recommandées sont généralement calculées dans la perspective d'une rentabilité l'année même de leur application. Elles ne compensent pas les exportations des cultures.

En Afrique de l'ouest et centrale, seul le Sénégal vulgarise diverses formules correspondant à des proportions variables de NPK (6-20-10 dans le bassin arachidier Sud par exemple). Dans les autres pays producteurs d'Afrique de l'Ouest, les fumures préconisées sont composées de super-phosphate simple (60 à 100 kg/ha) ou d'engrais coton, selon la disponibilité. L'utilisation d'engrais connaît une forte baisse liée à la disparition des structures d'appui au monde rural (crédit, subventions, sociétés de développement), alors que la réduction des jachères conduit à un déclin alarmant de la fertilité des sols, notamment dans les zones arachidières des savanes africaines.

● **Les ravageurs et les maladies**

L'arachide, bien que moins exposée que d'autres légumineuses tropicales (niébé et soja), est sensible à des maladies et ravageurs divers contre lesquels l'agriculteur se protège en utilisant des variétés tolérantes ou résistantes (notamment à la rosette), en appliquant des mesures agronomiques préventives d'efficacité partielle et en recourant à des traitements chimiques, en fait limités au traitement fongicide des semences et au traitement insecticide des stocks individuels ou collectifs. Des traitements à grande échelle contre les nématodes, ainsi que d'autres actions, telles que l'utilisation d'appâts empoisonnés contre les iules (myriapodes), ont donné de bons résultats dans les conditions privilégiées où ils étaient appliqués, mais n'ont pas été diffusés durablement, faute d'appui technique et d'incitations économiques suffisantes.

Pour le traitement des semences, il est recommandé d'effectuer un enrobage à sec des graines avec un produit fongicide auquel on ajoute parfois un insecticide répulsif. L'effet, en termes de pourcentage de germination, est toujours important et parfois considérable (gain de 30 % et plus) si les graines ont été semées dans des conditions d'hygrométrie défavorables, trop profondément ou trop superficiellement. L'opération s'effectue soit par brassage manuel dans une bassine, soit dans un tambour mélangeur.

La formule Granox

La formulation dépend des produits recommandés ou disponibles localement. La formule commerciale Granox est employée au Sénégal à la dose de 2 ‰ (100 g pour 50 kg de graines), composée de Captafol + Benomyl + Carbofuran en proportions 10-10-20, le reste étant composé de poudre adhésive (talc ou attapulgite).

Dans les stocks, l'insecte le plus nuisible est la bruche de l'arachide (*Caryedon fuscus*), présente aux champs à la récolte et sur certaines légumineuses pérennes toute l'année. Les petits lots peuvent être détruits en une intersaison. Différentes méthodes de lutte peuvent être préconisées (sous réserve de l'agrément des produits) :

- > comprimés de phosphore d'aluminium dans des récipients métalliques hermétiques (action d'autant moins efficace que l'air est sec) ;
- > traitement sous bâches par fumigation au gaz toxique (bromure de méthyle lorsqu'il est autorisé) : 48 heures à la dose de 30 g/m³, suivi d'une ventilation forcée. Ne traiter que des arachides bien sèches si l'on souhaite les utiliser comme semences ;
- > poudrage insecticide réalisé à mesure du remplissage des magasins ou de la constitution des tas, complété par un traitement de couverture en surface (sacs ou coques en vrac). Selon les réglementations en vigueur sont utilisés : K-othrine, Actellic, Bromophos, Iodophenphos, parfois en panachage.

● La récolte et les techniques post-récolte

La récolte de l'arachide est suivie du séchage et du battage, l'ordre de ces deux opérations pouvant être inversé. La teneur en eau des gousses passe ainsi de 30-40 % à la récolte à 6-8 % avant stockage.

Le critère de maturité le plus net est le dessèchement du parenchyme interne des gousses qui devient brunâtre. Avant la date théorique de fin de cycle, il faut procéder à des sondages. L'arrachage doit se faire lorsque 70 à 80 % des gousses sont mures. L'arrachage peut être manuel en sol meuble. Sinon il faut sectionner le pivot racinaire à 10-15 cm sous terre, secouer pour éliminer la terre et laisser ressuyer en andains, gousses en l'air.

Les gousses fraîches ne peuvent être stockées sans s'échauffer. En culture traditionnelle de savane sèche, on met en meules au bout de deux jours, gousses vers l'intérieur en aménageant une cheminée centrale d'aération. On laisse sécher au moins trois semaines. En climat humide, il faut opérer un séchage sur perroquet ou sur un bâti surélevé et finir le séchage en couches minces sous abri. Un séchage artificiel peut être conduit dans des séchoirs de type riz, en respectant les règles suivantes :

- > hauteur optimale : de 0,6 m pour 35 % d'humidité à 3 m pour 20 % d'humidité ;
- > ne pas dépasser 35°C pour l'air soufflé à travers la masse, ou mieux ne pas dépasser de 5°C la température ambiante ;
- > adopter un débit moyen compris entre 300 et 600 m³/h et par m³ d'arachide ;
- > procéder en deux temps : une phase rapide et une phase lente de finissage.

En culture traditionnelle, l'égoissage manuel aboutit à un produit parfait et préserve les fanes. Des bâtons, fléaux et divers types de batteuses mécaniques inspirées des batteuses à riz sont utilisés. Il faut ensuite vanner pour séparer les gousses des brisures. Des précautions particulières sont prises pour traiter les semences et l'arachide de bouche. Des batteuses mobiles ou à poste fixe sont utilisées dans les pays de culture mécanisée, les plus performantes intervenant directement après arrachage et déversant le produit dans des vannes équipées de séchoirs.

Le stockage individuel (semences et auto-consommation) est aléatoire, notamment après décorticage. Le stockage collectif, villageois ou industriel, est toujours préférable. L'opération doit obéir aux règles suivantes :

- > s'assurer de la propreté et de la sécheresse des coques à traiter ;
- > procéder, si possible, à une désinsectisation au gaz toxique sous bâches ;
- > nettoyer et désinsectiser préalablement le magasin et la sacherie ;
- > poudrer avec un insecticide à mesure du stockage (vrac) ou du remplissage des sacs et faire un poudrage final de couverture ;
- > effectuer un contrôle par échantillonnage toutes les trois semaines.

Le stockage des graines doit être limité aux produits finis avant expédition (bouche) ou distribution (semences). Il nécessite des précautions et des infrastructures particulières : entreposage sous bâches, magasin climatisé ou réfrigéré lorsque la période de stockage excède huit mois.

● Les temps de travaux

Les temps de travaux cités au tableau 4 ont été relevés dans trois situations correspondant à la culture manuelle intégrale, à la culture attelée et à la culture motorisée correspondant à un niveau moyen (aux Etats-Unis en 1970).

Tableau 4. Temps de travaux pour la culture de l'arachide (heures par hectare)

	Culture		
	<i>Motorisée (Etats-Unis 1970)</i>	<i>Attelée (sud Sénégal) cheval</i>	<i>Manuelle (Congo)</i>
Préparation terrain	7,5	30	120
Décorticage semences	--	90	100
Semis	5,3	15	120
Épandage engrais	--	10	--
Entretien	41	85	160
Traitement	1,5	--	--
Arrachage, meules	--	100	70
Battage	50	60	240
Total	105,3	390	810

● Les perspectives de la filière

● L'évolution récente de la filière

La filière arachide est actuellement caractérisée par :

- > une augmentation lente et constante de la production, passée de 23 à 30 millions de tonnes (coques) en une décennie, imputable pour l'essentiel à des progrès considérables de la productivité aux Etats-Unis et en Chine ;
- > une monétarisation croissante de la production dans des zones jusque-là vouées à l'auto-consommation, liée au développement de marchés urbains et de réseaux de collecte informels mal connus ;
- > la régression des exportations de produit brut (coques et graines non triées en vrac) au profit de l'industrie locale et surtout d'un secteur artisanal en fort développement, parallèlement à la régression des ventes de tourteaux, qui compromet la rentabilité de la filière huilerie industrielle (Sénégal) ;
- > une évolution croissante du marché international vers le secteur le plus rémunérateur : l'arachide de bouche, au détriment de la filière huilerie ;
- > une transition difficile vers la privatisation de la filière dans un contexte institutionnel encore mal stabilisé dans de nombreux pays du Sud ;
- > le durcissement des normes de qualité technologique et surtout sanitaire (contrôle de l'aflatoxine), imposé par les pays importateurs (UE surtout) et auquel les pays du Sud devront s'adapter s'ils veulent rester présents sur le marché ;
- > l'émergence sur le marché de producteurs asiatiques (Vietnam) et de clients potentiels (Europe de l'Est).

Le tableau 5 donne une appréciation de la répartition actuelle de la production dans le monde, l'estimation des superficies étant hasardeuse du fait de l'importance des cultures associées. L'essentiel de la production est assuré par l'Asie, mais ce continent intervient peu sur un marché international restreint (moins de 15 % du total), dominé par les Etats-Unis.

Tableau 5. Production d'arachide dans le monde, 2001 (coques)

Pays	Production (millions de tonnes)
Chine	14,6
Inde	6,2
Nigeria	2,9
Etats-Unis	1,8
Sénégal	1,1
Indonésie	1,0
Monde	34,7

Source : FAO.

● La recherche

Les enjeux de la recherche arachidière correspondent à une double nécessité :

- > améliorer durablement la productivité dans les petites exploitations des pays en développement ;
- > améliorer la qualité des produits, en réponse à la demande des marchés.

Ceci implique que des actions de recherche soient conduites à plusieurs niveaux :

- > développer les travaux d'agro-physiologie afin de mieux définir les stades de sensibilité et d'identifier les causes des limitations du rendement, dans le but de déclencher les interventions agronomiques à bon escient et d'en optimiser les effets ;
- > définir des itinéraires techniques intégrant les aspects agronomiques et socio-économiques, afin d'insérer l'arachide dans des systèmes de culture pluviaux et irrigués reproductibles et adaptés aux grandes zones agro-écologiques ;
- > améliorer la qualité sanitaire, nutritionnelle et technologique des produits arachidières en intervenant à plusieurs niveaux :
 - *par la sélection* : tolérance à la sécheresse, à l'aflatoxine, aux maladies et prédateurs, amélioration de la composition en acides aminés et en acides gras essentiels ;
 - *par la phytotechnie* : développement de méthodes agronomiques préventives de la sécheresse (en combinaison avec l'irrigation), des maladies et des prédateurs (en combinaison avec les traitements chimiques) ;
 - *par la technologie post-récolte* : amélioration et diversification des produits et sous-produits de la plante. Il s'agit de permettre à l'agriculteur, en participant à la première transformation, de bénéficier d'une partie de la plus-value à ce jour réservée aux opérateurs industriels ou artisanaux.

Les opérateurs de la recherche arachidière

Ils opèrent à différents niveaux :

- international : l'ICRISAT conduit, à partir de son centre principal situé à Hyderabad, des recherches portant principalement sur la sélection et la défense des cultures. Il gère des centres régionaux en Afrique de l'Ouest et Australe ;
- régional : un «réseau arachide» est mis à la disposition des institutions nationales ouest et centrafricaines par le CORAF (Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement agricoles) ;
- coopération technique : citons le programme cultures alimentaires du CIRAD, qui intervient sur l'arachide surtout en Afrique, et le Peanut CRSP (Cooperative Research Support Program) des Etats-Unis qui intervient en Afrique et en Asie ;
- national : tous les systèmes nationaux des pays producteurs (en particulier l'Israël au Sénégal et le Groundnut Research Center au Shandong en Chine) interviennent sur l'arachide.

LE CARTHAME (DES TEINTURIERS)

Carthamus tinctorus

Anglais : safflower, bastard saffron

Espagnol : alazor, azafrán, cártamo

Portugais : açafão bastardo, cártamo

Famille des Asteraceae

● Les utilisations du carthame

Cultivé en Inde, en Chine, en Egypte, au sud de l'Europe, au Mexique, au Venezuela et en Colombie, il serait originaire d'Asie.

Le carthame est principalement produit aujourd'hui pour son huile destinée à la consommation humaine. En effet, son taux d'acide linoléique (75 %) est supérieur à celui des huiles de maïs, de soja, de coton, d'arachide et d'olive.

Le carthame contient des matières colorantes rouges et jaunes utilisées pour la coloration de la soie. Les fleurs du carthame sont utilisées comme produit de teinture à un coût moindre que celles du safran, dont elles ont les mêmes propriétés tinctoriales. Les graines contiennent de l'huile (acides mono et polyinsaturés) utilisée dans l'alimentation humaine mais également dans l'industrie chimique pour la constitution de vernis et de peintures. Les graines sont également destinées à l'alimentation des oiseaux. Les tiges sont utilisées dans la fabrication de savon et le tourteau dans l'alimentation du bétail.

● La plante et sa culture

La plante est annuelle, buissonnante, d'une hauteur de 0,60 à 1,5 m, à feuilles alternes et tiges raides et droites de couleur blanchâtre. Le système racinaire pivotant descend jusqu'à 3 m de profondeur dans les sols humides. La tige produit d'un à cinq capitules d'environ 2,5 à 3,5 cm de diamètre. Chaque capitule porte quinze à cinquante graines contenant 34 à 36 % d'huile. La reproduction s'effectue par semis.

Le carthame est tolérant au gel au stade rosette, mais très sensible au froid après l'élongation de la tige et jusqu'à la maturité des graines. Il nécessite des températures chaudes, un ensoleillement et des conditions sèches pendant la floraison et le remplissage des graines. En conditions humides, les risques de maladies augmentent et les rendements diminuent. Il nécessite quatorze heures de lumière par jour et ne tolère pas l'ombre. Il préfère les sols argileux, mais peut croître dans des sols sableux ou grossiers. Il tolère le sel mais un niveau élevé de salinité diminue le taux de germination.

Le cycle de culture dure 110 à 150 jours pour une culture de printemps. Le zéro de germination est de 4,5°C et la température idéale de germination de 15,5°C. Le semis doit être réalisé dans un sol humide sur au moins 10 cm. La pollinisation est accrue avec la présence d'abeilles sur le champ. Le carthame est sensible à la sclérotine (pourriture du capitule), comme le tournesol, la moutarde et le haricot. On récolte lorsque les feuilles sont devenues marron. Il faut éviter que les graines se décolorent et germent (ce qui arrive s'il pleut et que la récolte est tardive).

LE COCOTIER

Cocos nucifera L.

Anglais : coconut (palm)

Espagnol : cocotero

Portugais : coqueiro

Famille des *Arecaceae* (= *Palmaceae*)

Sous-famille : *Arecoideae*. Tribu : *Cocoeae*. Sous-tribu : *Butiinae*. Genre *Cocos*.

Le cocotier est la seule espèce du genre *Cocos* et on ne connaît pas d'espèce sauvage apparentée.

● Les utilisations du cocotier

Le cocotier procure à l'homme de nombreux produits de grande utilité. Il est surtout cultivé pour ses fruits qui comprennent :

- > une enveloppe externe fibreuse, employée en particulier en filature, tissage et rembourrage ;
- > une amande, qui peut être consommée à l'état frais ou transformée, principalement en lait et en crème. Après séchage de l'amande dans un four, on obtient du coprah, duquel on extrait de l'huile ;
- > de l'eau de coco, qui constitue un breuvage rafraîchissant ;
- > une coque, qui a, elle aussi, plusieurs utilisations.

Outre les fruits, bien d'autres parties du cocotier sont utilisées par l'homme. Par incision de l'inflorescence, on obtient une sève qui sert à la fabrication de boissons alcoolisées et de vinaigre ou dont on extrait des sucres. Les racines sont utilisées en pharmacie, le tronc pour les charpentes et les feuilles pour la confection de nattes, de chapeaux et d'objets artisanaux. Enfin le bourgeon terminal se consomme à l'état frais ou cuit (chou coco). Le cocotier mérite bien son nom d'*arbre aux cent usages*.

● La plante et son environnement

● La plante

● L'origine et la diffusion

Le cocotier est sans doute originaire de la région Pacifique, entre l'Asie du Sud-Est et la Mélanésie, avec un centre de diffusion secondaire dans le sous-continent indien. Son fruit est adapté à la dissémination par les courants marins, mais l'homme a largement contribué à lui donner son extension mondiale. On distingue trois grands courants :

- > des populations austronésiennes l'ont transporté d'Asie du Sud-Est jusqu'en Polynésie et à Madagascar, et sans doute vers la côte Pacifique du Panama ;
- > au Moyen Age, le commerce arabe crée d'intenses échanges au sein de l'Océan indien ;
- > au XVI^e siècle, les voyageurs européens le transportent de la région indienne vers l'Afrique de l'ouest et la côte ouest de l'Amérique.

Les surfaces cultivées se sont considérablement accrues au début de ce siècle, mais la production a connu ensuite un déclin relatif au cours de ces cinquante dernières années. Omniprésent sur les côtes situées aux latitudes inférieures à 20° Nord et Sud, le cocotier couvre aujourd'hui onze millions d'hectares. Quarante-six millions de tonnes de noix fraîches sont produites, dont 85 % en Asie, où se trouvent les trois premiers pays producteurs : l'Indonésie (30 %), les Philippines (23 %) et l'Inde (19 %).

● **Les caractéristiques morphologiques**

Le cocotier se compose de quatre parties :

- > *le tronc ou stipe*, qui ne croît pas en épaisseur, mais uniquement en hauteur à partir de son émergence (le cocotier est une monocotylédone), contient plusieurs milliers de faisceaux libéraux-ligneux conducteurs de sève et sa surface est marquée par les cicatrices foliaires ;
- > *les feuilles ou palmes*, qui sont émises en continu à partir d'un bourgeon unique (le cœur), les nouvelles palmes remplaçant les palmes basses sénescentes. En conditions environnementales stables, le cocotier a donc une couronne foliaire de forme constante, composée de trente-cinq palmes vertes environ chez l'hybride PB 121. Chaque palme mesure cinq à six mètres de long et porte environ deux cent folioles de part et d'autre du rachis ;
- > *les régimes*, produits à l'aisselle de chaque palme, sont composés d'épillets portant des fleurs mâles et femelles. La fécondation a lieu quelques jours après l'ouverture naturelle de la spathe. Il faut environ un an entre la fécondation des fleurs femelles et la récolte des noix mûres ;
- > *le système racinaire*, du type adventif et fasciculé, est composé à l'état adulte de 8 à 10000 racines primaires, qui peuvent atteindre 25 m en surface et 5 à 6 m en profondeur. Ces racines de 1 cm de diamètre portent, selon un angle de 90°, des racines secondaires (2,5 mm de diamètre et 3 m de long) qui portent des racines tertiaires (1 mm de diamètre et 10 cm de long) se ramifiant elles mêmes en racines quaternaires (0,4 mm de diamètre et 1 cm de long). Les racines primaires et secondaires participent à l'ancrage de l'arbre et ont un rôle d'exploration alors que les racines tertiaires et quaternaires ont plutôt un rôle d'exploitation des ressources hydrominérales du sol.

● **Les modes de reproduction**

On répertorie plus de 400 cultivars traditionnels de cocotier. Nombre d'entre eux sont conservés dans des banques de germplasm, regroupées au sein du réseau COGENT qui regroupe plus de 1 200 accessions dans dix neuf pays. Cette variabilité peut être résumée à l'aide de plusieurs critères :

- > *la forme du fruit* : on distingue le type *Niu Kafa* à fruit allongé et triangulaire, riche en bourre et relativement pauvre en albumen liquide (eau de coco), le type *Niu Vai* à fruit rond, à bourre plus réduite et riche en albumen liquide, et les formes intermédiaires ;
- > *le mode de reproduction et la stature de l'arbre* : les cocotiers *grands* sont majoritaires, à fécondation croisée et pourvus d'un stipe robuste et à croissance rapide. Les cocotiers *nains*, étroitement apparentés entre eux, s'autofécondent le plus souvent, ont un stipe grêle et une croissance lente. Le *Niu Leka* est similaire aux *grands*, excepté pour sa croissance très réduite ;

> *l'origine génétique*, révélée par les marqueurs moléculaires (en particulier RFLP). Le groupe Pacifique, le plus diversifié, comprend tous les types de cocotiers cités plus haut, principalement des *Niu Vai*. Les *nains* y trouvent leur origine. Le groupe indo-atlantique, originaire du nord de l'Océan indien, est également présent en Afrique de l'ouest et en Amérique, sur la façade atlantique. Il comprend exclusivement des grands, le plus souvent de type *Niu Kafa*. D'autres populations sont issues de la rencontre entre ces deux groupes, en Afrique de l'Est et aux îles Andaman.

Divers centres de recherches ont mis au point des hybrides à haut potentiel, *nains* x *grands* ou, plus récemment, *grands* x *grands*. Plus coûteux à produire, ils apportent un gain de production pouvant atteindre 50 à 80 %, dans des systèmes de culture à haut niveau d'intrants.

Les hybrides sont produits dans des champs semenciers isolés. Les arbres-mères sont émasculés. Le pollen provient de géniteurs d'un autre cultivar qui peut être planté dans le même champ (fécondation naturelle dirigée) ou séparément. Dans ce cas, un mélange de talc et de pollen est pulvérisé sur les inflorescences réceptives (pollinisation assistée).

● **L'écologie du cocotier**

Le cocotier est très plastique vis-à-vis du sol. On le trouve sur des types de sol très variés, dont certains considérés comme marginaux voire inaptes à toute autre culture, comme les sols coralliens des atolls du Pacifique, les sables grossiers complètement désaturés des plages littorales, les sols sulfatés acides de mangrove et les tourbes profondes.

En revanche, le cocotier est une plante sensible aux facteurs climatiques :

- > la pluviosité optimale est de 1800 mm/an, répartis uniformément dans l'année, avec une certaine tolérance à une réduction ou à un excès de pluie temporaire ;
- > l'ensoleillement minimum est approximativement de 1 800 heures de soleil par an, avec au moins cent vingt heures par mois ;
- > la température moyenne optimale est de 27°C, la plus stable possible le long de l'année. La limite supérieure est estimée à 35°C environ, la limite inférieure à 20°C environ, la limite de survie à 13°C. De ce fait, la culture du cocotier est limitée en latitude (approximativement au 20^{ème} parallèle) et en altitude (approximativement à 500 m) ;
- > l'hygrométrie de l'air est un facteur très important. Les stomates du cocotier se ferment très vite lors d'une baisse de l'hygrométrie de l'air, indépendamment de la réserve en eau du sol. La culture du cocotier n'est donc pas recommandée dans les zones où l'hygrométrie à midi est inférieure à 50 % pendant plus de trois mois consécutifs ;
- > le vent est rarement en lui-même un facteur limitant : mis à part les cas de cyclones, le cocotier supporte des brises fortes. Cependant le vent peut dans certains cas aggraver la chute de l'hygrométrie (cas des vents desséchants en saison sèche).

Le cocotier a donc de grandes exigences climatiques, d'où son cantonnement à certaines régions de la zone tropicale humide. En général les zones côtières, sous l'influence d'une brise marine qui charge l'air d'humidité et amortit les écarts de température, sont les plus favorables à la culture du cocotier. Mais on peut trouver aussi des situations favorables à l'intérieur des terres.

● La culture

● L'itinéraire technique

● La mise en place de la culture

Pour l'acquisition du matériel végétal, il convient de s'adresser à des organismes spécialisés, seuls capables de produire des semences de haute qualité, qu'il s'agisse d'hybrides ou de cultivars traditionnels améliorés. Outre le potentiel de production, l'adaptation aux conditions écologiques et phytosanitaires est à prendre en compte.

La préparation des plants est conduite dans des germoirs et des pépinières. Pour obtenir des plants homogènes et vigoureux, il faut successivement éliminer les noix non germées ou germées avec retard (20 %), puis les noix présentant un germe atypique, puis les plants mal venus ou anormaux (15 %). On obtient ainsi un rendement global de 50 à 60 plants maximum pour 100 semences hybrides mises en germoir. Il faut donc 250 semences pour planter un hectare de cocotier à la densité de 143 plants/ha et 275 semences pour planter un hectare de cocotiers à la densité de 160 plants/ha.

La création d'une plantation comprend quatre opérations : le défrichage et la préparation du terrain, le semis d'une légumineuse de couverture, le piquetage et la plantation.

Le défrichage et la préparation du terrain peuvent être faits manuellement ou mécaniquement, en fonction des possibilités et des contraintes locales. Les méthodes manuelles ont l'avantage de respecter la couche humifère du sol.

Le semis d'une légumineuse de couverture a trois objectifs : l'enrichissement du sol en matière organique, le contrôle des adventices et la diminution du risque d'érosion. Les légumineuses herbacées les plus couramment utilisées sont *Pueraria javanica*, *Centrosema pubescens* et *Calopogonium (mucunoides-caeruleum)*. Sur des sols très appauvris dont on veut restaurer la fertilité, on peut utiliser également des légumineuses arbustives ou arborescentes plus vigoureuses, telles que *Leucena glauca*, *Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis*, en lignes alternées avec les cocotiers.

Le piquetage consiste à repérer sur le terrain, en fonction de la densité de plantation retenue, l'emplacement futur des cocotiers. Dans le cas des plantations villageoises, le piquetage peut être réalisé avec un matériel très simple (chaîne d'arpenteur ou cordes et mètre ruban). Pour une densité de 160 arbres/ha (8,5 m en triangle), la distance entre les lignes est de 7,36 m et pour 143 arbres/ha (9,50 m en triangle) cette distance est de 7,80 m.

Il convient de garder les plants suffisamment longtemps en pépinière pour permettre une sélection rigoureuse avant transplantation. L'âge idéal de transplantation des plants se situe entre six et huit mois. À cet âge, un hybride *nain x grand* a en moyenne 18 à 20 cm de circonférence au collet, 7 à 8 feuilles vivantes et 110 à 120 cm de hauteur. Enfin, les feuilles les plus jeunes sont déjà différenciées (séparation des folioles).

La plantation doit avoir lieu à une période climatique favorable, en général le début d'une période pluvieuse. La plantation doit être réalisée au plus tard deux jours après la sortie des plants de la pépinière. On creuse un trou dont l'ouverture est légèrement plus grande que le sac et la profondeur telle que la terre recouvre de cinq centimètres le sommet de la noix.

● **Les cultures associées**

En cocoteraie adulte, l'éclairage au sol augmente. Les cultures associées deviennent alors possibles, présentant les mêmes avantages qu'au jeune âge. Permettant une meilleure utilisation du terrain et de la main-d'œuvre disponible, les cultures associées assurent au planteur un revenu pendant la période improductive de la cocoteraie. Bien entretenues, elles favorisent le développement des cocotiers.

Les cultures associées les plus couramment pratiquées sont le cacaoyer, le caféier, le bananier, l'ananas, le maïs, le poivrier, le vanillier, les arbres fruitiers, le giroffier et le kava dans la région Pacifique. Des plantes à tubercules comme l'igname, le taro et surtout le manioc sont à cultiver avec précaution car, sur de longues périodes, elles peuvent entraîner des déficiences minérales sévères.

Pour être bénéfiques, les cultures associées nécessitent une bonne maîtrise technique. Le planteur doit en effet respecter l'équilibre entre le cocotier et les cultures intercalaires.

L'association cocotier-élevage (bovins, ovins et caprins) ne peut être pratiquée que lorsque les palmes sont hors de portée des animaux. Cette association nécessite des sols fertiles et une bonne distribution des pluies permettant une production fourragère tout au long de l'année.

● **L'entretien**

Le désherbage des ronds facilite le développement des cocotiers en évitant leur étouffement et la concurrence hydrique. Le nombre de passages diminue avec l'âge des cocotiers : de six tours/an au jeune âge à deux ou trois tours à l'âge adulte.

● **La fumure**

La fumure minérale du cocotier se base sur la technique du diagnostic foliaire : analyse minérale d'un échantillon foliaire représentatif du statut minéral de l'ensemble de l'arbre et d'âge physiologique identique d'année en année (en l'occurrence un morceau central de folioles centraux de la palme n°14).

Dans une zone de culture de conditions pédoclimatiques homogènes, des expériences de nutrition minérale établissent pour chaque élément une corrélation dose d'engrais-teneur foliaire-production, à l'échelle pluri-annuelle. La fumure minérale des parcelles de rapport est pilotée par un diagnostic foliaire annuel. Elle est calculée de façon que les teneurs foliaires des parcelles de rapport s'alignent sur les teneurs foliaires de la combinaison optimale sur les expériences de référence.

Ces expériences de référence *in situ* ont donc pour but de :

- > détecter les éléments sensibles (identification des carences minérales) ;
- > calculer la réponse des cocotiers à ces éléments, par l'expérimentation de doses croissantes d'engrais ;
- > définir les équilibres minéraux optimaux, en mesurant les interactions positives ou négatives entre éléments.

Après plusieurs dizaines d'années d'utilisation dans des régions très variées, cette méthode de gestion de la fumure minérale des cocoteraies s'est avérée procurer le meilleur rapport qualité/prix. Des carences minérales très diverses ont été rencontrées

dans les différentes zones de culture du cocotier. Les plus connues sont les suivantes mais la liste est loin d'être exhaustive :

- > la carence en azote dans les sites pauvres en matière organique ;
- > la carence en phosphore sur les sols sableux littoraux dans le Nord-Est brésilien ;
- > la carence en potassium sur les sols ferrallitiques désaturés en Afrique de l'Ouest ;
- > la carence en cuivre sur les tourbes épaisses en Indonésie ;
- > la carence en fer et manganèse sur les sols coralliens des atolls du Pacifique ;
- > la carence en chlore dans les zones éloignées du littoral qui ne disposent donc pas d'apports naturels de chlore, ni atmosphériques par embruns chargés de sel, ni souterrains par nappe phréatique plus ou moins salée. Dans ces zones, la réponse aux engrais chlorés, notamment au chlorure de sodium NaCl, est en général spectaculaire et très rentable.

● La défense des cultures

Les arthropodes nuisibles peuvent affecter toutes les parties du cocotier ou transmettre des maladies létales à phytoplasmes, virus, nématodes ou trypanosomes. Les maladies localisées au feuillage, aux fruits et au bourgeon sont d'origine essentiellement fongique. La répartition géographique et l'impact économique de ces problèmes sont très variables.

Tableau 6. Les ravageurs du cocotier

Ordre	Sites d'attaque	Noms	Répartition géographique
Lépidoptères	Feuilles	<i>Limacodidae</i> (en prédominance)	Toutes zones
	Régimes et troncs	<i>Castnia spp</i>	Amazonie
	Racines	<i>Sufetula spp</i>	Asie, Afrique
Coléoptères	Feuilles	<i>Promecotheca spp</i>	Asie, Pacifique
	Feuilles juvéniles de la flèche	<i>Brontispa spp</i>	Asie, Pacifique
	Galleries dans la flèche	<i>Scapanes spp</i>	Asie, Pacifique
	Galleries dans la flèche	<i>Oryctes spp</i>	Afrique, Asie
	Stipe	<i>Rhynchophorus spp</i>	Afrique, Asie
	Plateau racinaire, bulbe	<i>Strategus spp</i>	Amérique du Sud
Homoptères	Feuilles	<i>Aspidiotus destructor</i>	Toutes zones
Hémiptères	Fleurs, jeunes fruits	<i>Amblypelta cocophaga</i>	Salomons
	Fleurs, jeunes fruits	<i>Pseudotheraptus spp</i>	Afrique
Acarien	Fleurs, jeunes fruits	<i>Eryophies guerreronis</i>	Amérique, Afrique, Asie du Sud-Ouest

Il convient, pour épargner la faune utile, de privilégier si possible des insecticides non toxiques pour les parasitoïdes, à base de *Bacillus thuringiensis* ou de virus spécifiques. Les techniques culturales préventives et le piégeage lumineux ou olfactif viennent en complément.

L'application de toutes ces méthodes nécessite une surveillance régulière des plantations. Dans le cas de pullulation d'un ravageur, on dénombre ses populations afin d'intervenir sur la surface où le seuil critique est dépassé.

L'application de pesticides peut se faire selon différentes techniques : pulvérisateurs, atomiseurs, thermonébulisateurs ou par voie systémique (injections dans le stipe et absorption racinaire).

Tableau 7. Les maladies du cocotier

Noms	Étiologies	Pathogènes	Vecteurs	Répartition géographique	Observations (Sites d'attaques, interventions...)
Helminthosporiose	Fongique	<i>Drechslera incurvata</i>		Toutes zones	Feuillage, pulvérisations dans le jeune âge seulement
« Lixa pequena »	Fongique	<i>Phyllachora torendiella</i>		Amérique du Sud	Contrôle naturel par champignons hyperparasites
« Lixa grande »	Fongique	<i>Sphaerodothis acrocomiae</i>			
« Quema »	Fongique	<i>Botryosphaeria cocogena</i>			
Pourriture humide	Fongique	<i>Phytophthora spp</i>		Toutes zones	Pourriture humide du bourgeon ou forte baisse de production de noix -Injection de phosétil aluminium ou de FOLI-R-FOS 400
Hartrot ou Marchitez	Trypanosomes	<i>Phytomonas</i>	<i>Lyncus sp</i>	Amérique	Contrôle chimique
Anneau rouge	Nématodes	<i>Rhadinaphelincus cocophilus</i>	<i>Rhynchophorus palmarum</i>	Amérique	Piégeage olfactif des adultes et destruction des arbres infestés
Jauissements mortels	Phytoplasmes		<i>Myndus crudus</i> en Amérique tropicale	Caraïbes, Afrique de l'Ouest et du Centre	Variétés résistantes non identiques d'un pays à l'autre, à cause de la diversité des souches du pathogène
Dépérissement foliaire	Virus	Coconut foliar decay virus (CFDV)	<i>Myndus taffini</i>	Vanuatu	Éradication de <i>Hibiscus tiliaceus</i> , hôte du vecteur, et utilisation de variétés ou d'hybrides tolérants
Cadang-cadang	Viroïdes	Coconut cadang-cadang viroid (CCCVd)	Mécaniquement transmissibles	Philippines	Vecteur et moyens de lutte non connus
Tinangaja	Viroïdes	Coconut Tinangaja viroid (CTIVd)	Mécaniquement transmissibles	Ile de Guam	Vecteur et moyens de lutte non connus
Blast	Inconnu		<i>Recilia mica</i>	Afrique	En pépinière, ombrage, élimination des graminées, et applications d'aldicarbe
Pourriture sèche du coeur	Inconnu		<i>Sogatella sp</i>	Toutes zones	

● Les temps de travaux et les fournitures nécessaires

Les temps de travaux sont donnés à titre indicatif. Il s'agit de chiffres moyens, variables suivant le contexte.

● La conduite des germoirs et des pépinières

Tableau 8. Temps de travaux (journées pour 1000 plants en sacs plastiques)

Opération	Germoir	Pépinière
Entaillage des noix	1	
Repiquage		6
Confection des planches	3	19
Arrosage-entretien	2	16
Pépiniériste	2	16
Total	8 journées	57 journées

Tableau 9. Fournitures nécessaires

Fournitures	Germoir	Pépinière
Noix germées	1720	
Sacs de pépinière		1250 sacs
Engrais		100 kg perlurée + 100 kg phosphate bicalcique 100 kg chlorure de potassium + 50 kg kiésérite
Carburant motopompe et lubrifiant		37,5 l carburant + 3,0 l lubrifiant

Ceci représente un total de 65 journées pour 1000 plants. Il s'agit d'une norme pour de grandes pépinières de type industriel. Dans le cas de petites pépinières, on peut compter le double, soit 130 journées pour 1000 plants.

● La création et l'entretien d'un hectare de cocoteraie villageoise

Tableau 10. Temps de travaux (journées/ha)

Année	0	1	2	3	4	5 et +	Total
Abattage, tronçonnage, brûlage	47						47
Finition	10						10
Semis couverture	3,5						3,5
Sarclage couverture	10	2					12
Piquetage	3,5						3,5
Trouaison	1						1
Mise en place	3						3
Pose grillage	1						1
Remplacements		0,5	0,2				0,7
Entretien	3,5	8	6	5,5	5	5	33
Contrôle phytosanitaire	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5
Divers	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3
Total	85,0	13,0	8,2	7,5	7,0	7,0	127,7

Tableau 11. Fournitures nécessaires (pour 1 ha)

Année	0	1	2	3	4	5 et +	Total
Plants (nbre)	160	20	10				190
Pueraria (kg de semences)	15						15
Fumure							
perlurée (kg)	32	48	64	80	120		344
phosphate Super-simple (kg)	32	64	80	80	80		336
chlorure de potassium (kg)	64	128	240	320	384	384	1 520
kiésérite (kg)	32	64	120	160	192	192	760
Produits phyto	pm	pm	pm	pm	pm	pm	

● La récolte et les opérations post-récolte

● La récolte

En conditions optimales, le cocotier est une plante qui croît, fleurit et fructifie toute l'année. Cependant, sa production peut diminuer suite à des périodes de sécheresse et autres accidents climatiques, ce qui induit des successions de pics de production et de périodes creuses. À complète maturité, les noix se décrochent du régime et tombent au sol où elles sont ramassées régulièrement. On pratique trois à six tours de récolte par an, selon la productivité et le climat local. En cas de risque de vol, les noix sont cueillies par des grimpeurs qui sectionnent les régimes arrivant à maturité. Les noix cueillies doivent subir un stockage intermédiaire pour achever leur maturation : *le seasoning*. Les noix peuvent ensuite être débouffées sur un pieu acéré (enlèvement de l'enveloppe fibreuse), ce qui réduit la charge de transport des noix jusqu'au site de transformation.

● La transformation oléagineuse

La noix de coco peut être transformée en produits très divers : produits frais (crème, lait, farine de coco), huile et tourteau, sucre, boissons alcoolisées, charbon de coque, cordes et nattes, etc. Du fait de sa nature oléagineuse, cette *grosse graine* a surtout été exploitée pour produire de l'huile. L'huile de coprah appartient au groupe des huiles lauriques. Riche en acides gras saturés à chaînes courtes et moyennes, cette huile présente une bonne stabilité, une faible viscosité et un fort indice de saponification (pouvoir moussant) qui lui ouvrent quantité d'emplois industriels : savonnerie, shampoings et détergents, margarines pour la pâtisserie industrielle. Elle représente également la première huile de cuisine en Asie du Sud-Est.

Il existe deux grands moyens d'extraction de l'huile de coco : la voie sèche, dans laquelle l'amande est transformée en coprah avant trituration, et la voie humide, qui part directement de l'amande fraîche.

● L'extraction par voie sèche

C'est la voie classique : l'extraction est réalisée sur l'amande déshydratée, le coprah, produit stable et donc stockable et transportable dans de bonnes conditions. La préparation du coprah est essentiellement le fait des petits planteurs et concerne plus de la moitié de la récolte.

Le coprah est obtenu par le séchage de l'amande fraîche de noix de coco mûres, dont la teneur en eau est abaissée de 50 à 6 %. Il existe différentes méthodes : séchage solaire ou séchage à l'aide d'un séchoir à chauffage direct ou à air chaud, équipement qui permet d'obtenir le meilleur coprah. La qualité du coprah dépend avant tout de sa préparation : le séchage doit être complet (teneur en eau inférieure à 7 %), régulier et ne doit pas induire de brûlage de l'amande, ni sa pollution par des produits de combustion (défauts qui affectent la couleur et la qualité de l'huile).

L'extraction de l'huile de coprah suit le schéma classique de trituration des graines oléagineuses : extraction mécanique par pressage dans des expellers et extraction par solvant. Ces deux méthodes peuvent être utilisées seules ou en combinaison. Le pressage du coprah donne lieu à la production d'un tourteau plus ou moins riche en huile. L'huile résiduelle contenue dans le tourteau peut être récupérée par extraction à l'hexane.

L'huile brute extraite contient des impuretés ou des composés indésirables qu'il convient d'éliminer avant la consommation. Les impuretés les plus grossières peuvent être séparées par traitement physique : décantation statique, centrifugation ou filtration. Le raffinage a pour but d'éliminer les composés chimiques indésirables : acides gras libres, substances colorées et composés volatils gênants.

● **L'extraction par voie humide**

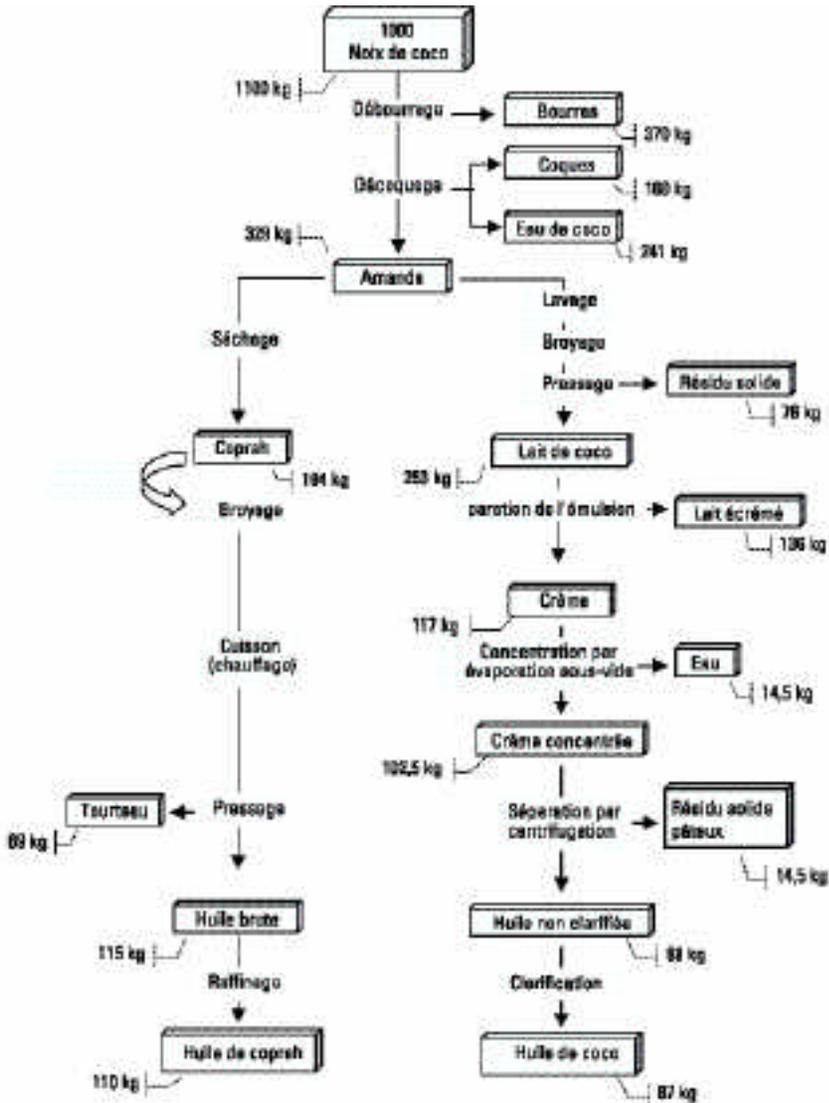
Il existe de très nombreux procédés traditionnels ou artisanaux de transformation directe de la pulpe de noix de coco en lait, crème ou huile. Le marché de ces produits se développe mais est encore marginal par rapport à l'ensemble de la filière.

Les procédés traditionnels consistent pour la plupart à râper l'amande fraîche, à en extraire par pression ou lessivage une émulsion de matière grasse dans l'eau (lait de coco), et enfin à séparer l'huile. Différentes méthodes peuvent être employées pour extraire le lait de coco (fouillage, pressage manuel, pressage sous levier) et pour casser l'émulsion (décantation naturelle ou fermentation du lait suivie d'un écrémage, chauffage). Certaines opérations unitaires ont pu être mécanisées : râpes motorisées, presses mécaniques, foyers améliorés.

Des techniques modernes de transformation ont été mises au point au cours des cinquante dernières années. Elles reprennent en grande partie les procédés traditionnels en les industrialisant : utilisation de broyeurs, de presses, de centrifugeuses ; séparation de l'huile par génie biologique ; méthodes cryogéniques ou encore décantation dynamique.

● **La voie semi-humide**

Appelé encore *séchage-friture*, ce procédé consiste à déshydrater l'amande fraîche broyée en la plongeant rapidement dans un bain d'huile de coco chaude, avant de poursuivre l'extraction de l'huile par la voie sèche classique. Le séchage de l'amande étant obtenu en quelques minutes, le procédé permet de réaliser l'ensemble du processus d'extraction de l'huile en moins de deux heures après l'ouverture de la noix, ce qui garantit une qualité optimale des produits (huile et tourteau).



► Figure 2. Les deux types d'extraction de l'huile de coco

● Les autres transformations

● La fabrication du coco râpé

Le coco râpé constitue l'un des produits apportant le plus de valeur ajoutée. Destiné à la consommation humaine directe, sa fabrication doit obéir à des règles très strictes sur le plan de l'hygiène. L'amande parée, triée, lavée et pulvérisée est séchée jusqu'à ce que son humidité atteigne 2-3 %. Le séchage est réalisé à l'air chaud dans des fours continus de type tunnel, puis le produit est refroidi, classé par tamisage et emballé.

● **La valorisation des sous-produits**

Quelle que soit la technique utilisée, la transformation de la noix de coco génère des sous-produits : bourres, eau et coques.

Les bourres sont fréquemment utilisées comme combustible pour le séchage du coprah ou pour les besoins domestiques. Elles contiennent des fibres très résistantes qui sont exploitées dans certains pays pour fabriquer toute une gamme de produits : fils, ficelles et cordes ; nattes, tapis et paillassons ; matière de rembourrage, etc.

Les coques sont essentiellement utilisées comme combustible par les producteurs mais ont deux autres usages industriels : la production de charbon végétal, recherché pour la fabrication de charbon activé (porosité et donc surface spécifique exceptionnelle), et la fabrication de farine de coque, utilisée comme abrasif léger dans l'industrie (décapage, lustrage) ou comme charge dans l'industrie des plastiques.

● **L'utilisation de l'eau de coco**

Dans les pays producteurs, l'eau des noix immatures est largement consommée en l'état sous forme de boisson. En revanche, celle des noix récoltées à maturité, beaucoup moins riche en composés hydrocarbonés, n'est pratiquement pas utilisée. La transformation de la noix de coco fait apparaître de très grands volumes d'eau de coco, dont le rejet sans traitement préalable entraîne une forte pollution de l'écosystème. Des solutions de traitement biologique de ces effluents particuliers sont à l'étude.

● **Les autres productions**

D'autres parties de la plante sont exploitées : racines, tronc, tissu fibreux situé à l'aiselle des pétioles, palmes, bourgeon terminal, sève des inflorescences. Sont décrites ci-après quelques transformations qui, bien que n'intéressant que le seul niveau artisanal, dépassent le cadre de la production domestique :

> *utilisation du tronc* : traditionnellement, le stipe des différentes espèces de palmier est utilisé sous forme de troncs non équarris ou, après avoir été refendu, en barres et traverses. Depuis quelques années des technologies qui permettent de travailler le bois très abrasif du cocotier ont été mises au point ;

> *valorisation de la sève* : la sève irriguant les jeunes inflorescences peut être récoltée (*tapping*). Appelée *toddy* dans le sud-est asiatique, la sève de cocotier est riche en sucres et peut être utilisée de différentes façons : production de sirop, de divers types de sucre (brut, cristallisé et raffiné) selon les techniques classiques de la sucrerie en chaudière ouverte, et de produits fermentés.

● **La production actuelle et les perspectives**

● **Les pays et les zones de production**

90 % de la superficie mondiale plantée en cocotier est située en Asie et dans le Pacifique. Trois pays produisent 80 % de la production mondiale commercialisée : les Philippines (2 300 000 ha, 2,5 Mt de coprah), l'Indonésie (2700000ha et 1,25 Mt de coprah) et l'Inde (1 250 000 ha et 0,7 Mt de coprah). L'Afrique, l'Amérique latine et les Caraïbes sont des zones de production moins importantes et beaucoup plus tournées vers la satisfaction des besoins intérieurs.

● L'organisation de la filière et ses perspectives d'évolution

Le cocotier est une plante à la fois vivrière et commerciale. De la fin du XIX^e siècle aux années soixante, le coprah a été l'un des deux premiers oléagineux échangés entre le Sud et le Nord et a fait l'objet d'une âpre compétition commerciale. La trituration du coprah, très longtemps réalisée au Nord, s'est délocalisée dans les grands pays producteurs depuis les années quarante et c'est désormais l'huile de coprah qui est exportée.

Les petits producteurs (moins de trois hectares) assurent près de 95 % de la production. Si, pendant des décennies, le coprah a bénéficié d'une forte prime par rapport aux autres oléagineux du fait de sa spécificité, il subit depuis quelques années une forte concurrence de la part des huiles de palme et de soja produites à bas prix. Cette compétition s'est traduite par l'écrasement de l'écart de prix consenti en faveur du coprah. Avec des cours du coprah moins attractifs, les cocoteraies vieillissantes ne sont pas remplacées, ce qui déprime les rendements et la productivité. L'aspect vivrier de la culture redevient prépondérant, le coprah n'étant produit que si les cours sont jugés intéressants. Les usages non oléagineux du cocotier (lait, crème, noix de bouche, noix à boire) comme la valorisation des coproduits et de la sève se développent régulièrement et devraient remplacer petit à petit la filière coprah.

● La recherche

● Les questions à la recherche

Après avoir surtout travaillé à l'amélioration du rendement agronomique de la plante, la recherche sur le cocotier a pris en compte l'évolution récente de la filière. Cette culture de petits paysans pauvres est confrontée à la chute des cours du coprah, au vieillissement des plantations et enfin à de graves maladies comme le jaunissement mortel.

Les thèmes de recherche portent donc sur l'amélioration des systèmes de cultures à base de cocotier, en vue de les adapter aux besoins des producteurs et aux contextes de production, sur la mise au point de la lutte intégrée contre les maladies létales et les ravageurs et enfin sur la diversification des usages.

Les institutions de recherche

La recherche sur le cocotier est conduite essentiellement par les systèmes nationaux de recherche agricole des pays producteurs². Les différents programmes nationaux sont organisés en réseaux : APCC pour les pays d'Asie-Pacifique, réseau IPGRI-COGENET pour la gestion partagée des ressources génétiques. Dans la dynamique du forum global sur la recherche agricole, l'ensemble de ces institutions de recherche vient de s'engager dans la construction d'un programme global de recherche sur le cocotier, dont la mise en place devrait permettre de rationaliser tant l'effort de recherche que l'utilisation des moyens.

² À l'exception du CIRAD.

LE PALMIER À HUILE

Elaeis guineensis Jacq.

Anglais : oil palm

Espagnol : palma de aceite

Portugais : dendê

Monocotylédone

Famille des *Palmaceae*

● **Les utilisations du palmier à huile**

Le palmier à huile est cultivé pour les huiles comestibles qui sont extraites de la pulpe de son fruit (huile de palme) et de son amande (huile de palmiste). Un hectare de palmiers produit de deux à sept tonnes d'huile par an.

Les huiles sont utilisées :

- > à 80 % pour l'alimentation humaine : margarines, matière grasse végétale de base, huile alimentaire, huile de friture et graisses spécialisées ;
- > pour la fabrication de dérivés à usages industriels : acides gras, savons et cosmétiques, savons métalliques, esters méthyliques, encres, résines époxydes, aliments pour animaux, etc ;
- > comme énergie verte.

Les déchets d'huilerie sont valorisés comme fertilisants et pour la production d'électricité ou de méthane. Outre le fruit, d'autres parties sont fréquemment utilisées : la sève (vin de palme), le stipe (ébénisterie), les feuilles (toitures), etc.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine et les aires de culture**

Originaire de la zone intertropicale humide d'Afrique, le palmier à huile existe à l'état spontané ou sub-spontané depuis le Sénégal jusqu'en République démocratique du Congo ou en Angola et de façon sporadique en Afrique orientale. Il est cultivé dans toute la ceinture intertropicale humide du globe.

● **Les caractéristiques morphologiques**

Plante pérenne d'un grand encombrement, le palmier est caractérisé à l'âge adulte par :

- > une puissante couronne de trente à quarante palmes vertes, de cinq à neuf mètres de longueur ;
- > un stipe cylindrique unique ;
- > un unique bourgeon végétatif situé au centre de la couronne ;

- > un système racinaire de type fasciculé (plusieurs milliers de racines), prenant naissance sur le bulbe. Quatre ordres de racines sont présents. Seules les racines quaternaires sont totalement absorbantes. Elles se rencontrent principalement dans les cinquante premiers centimètres de sol ;
- > des cycles successifs d'inflorescences mâles et femelles (plante monoïque), situées à l'aisselle des feuilles.

La fécondation est entomophile. Les inflorescences femelles se développent en un régime compact. À maturité, celui-ci pèse 10 à 50 kg et porte 500 à 3 000 fruits. Le fruit est une drupe sessile pesant 10 à 30 g composée d'une amande (palmiste), d'une coque, d'un mésocarpe riche en huile et d'un épiderme.

● **Les modes de reproduction, la variabilité génétique**

Le palmier à huile est une plante allogame présentant trois types : dura (fruits à coque épaisse), pisifera (fruits sans coque, fleurs femelles avortées) et tenera (fruits à coque mince), hybrides mendéliens simples des deux précédents.

Les plantations modernes sont constituées d'hybrides tenera. Il n'est pas possible d'utiliser leurs graines pour créer de nouvelles plantations, sous peine d'obtenir un quart de palmiers stériles (pisifera), un quart de palmiers à faible taux d'extraction (dura) et la moitié de tenera à potentiel de production très affaibli par la consanguinité.

L'amélioration génétique du palmier à huile ainsi que la production du matériel végétal sont le fait d'organismes spécialisés, présents dans toutes les régions où la culture est pratiquée, en raison de la spécificité des programmes, techniques et ressources génétiques utilisées et des contraintes qu'elle impose (durée du cycle de sélection : quinze à vingt ans, un demi-hectare par génotype évalué). Les ressources génétiques sont divisées en deux groupes :

- > *groupe A à petit nombre de gros régimes* : origines Deli (Malaisie, Indonésie, Dabou et Nigéria) et Angola.
- > *groupe B à petits régimes en grand nombre* : origines Côte d'Ivoire, Cameroun, Nigéria et l'ensemble congolais : Yangambi, Sibiti, Rispa, etc.

D'importantes collections existent en Malaisie (Porim) et en Côte d'Ivoire (CNRA La Mé).

Le matériel végétal sélectionné est composé de croisements complexes (reproduction d'hybrides) entre des géniteurs prouvés issus des deux groupes, diffusés sous forme de graines préchauffées ou germées, de plantules de pré-pépinière et de plants.

● **L'écologie du palmier à huile**

Dans de bonnes conditions le palmier à huile produit toute l'année. Toute limitation des conditions environnementales se traduit par une réduction de la productivité : allongement des cycles mâles, diminution des cycles femelles et du poids moyen des régimes, puis avortements d'inflorescences, surtout femelles. Dans les cas extrêmes, on peut observer la mort de l'arbre.

Le potentiel maximal du palmier à huile ne peut être atteint que s'il dispose :

- > d'une pluviométrie de 1 800 mm d'eau par an, bien répartie sur toute l'année ;
- > d'un minimum de 1 800 heures d'ensoleillement par an et d'un rayonnement global supérieur à 12 MJ/m² ;
- > de minima mensuels de température supérieurs à 18°C et de maxima compris entre 28 et 34°C.

Le palmier à huile est assez peu exigeant concernant les sols. Néanmoins, il lui faut un sol meuble et profond et exclure les sols gravillonnaires ou trop argileux et les sables purs. Il affectionne les pH proches de la neutralité mais supporte bien les pH acides jusqu'à 4-4,5.

La plupart des substrats géologiques peuvent être exploités : sédiments du tertiaire, socle ancien, terrasses alluviales anciennes, dépôts alluviaux récents, formations organiques, sédiments volcaniques. Les pentes et les bas-fonds inondables doivent être spécialement aménagés avant leur exploitation.

Le palmier est très sensible à la composition chimique du sol. Il exprime son déficit nutritionnel par des réductions de productivité et des symptômes foliaires de carence. Les besoins sont variables d'une région à l'autre et dépendent de nombreux facteurs. Le pilotage de la nutrition minérale se fait à partir d'expérimentations agronomiques spécifiques et d'analyses de la composition des feuilles en éléments minéraux. Il prend aussi en compte la rentabilité économique de la fertilisation. Dans le cas des plantations familiales, ce pilotage devrait être effectué avec l'appui de groupements de planteurs ou de sociétés ou organismes de conseil spécialisé.

Tableau 12. Niveaux foliaires de référence

Éléments	Feuille 17	Remarques
Majeurs (% matière sèche)		
Azote	2,40 - 3,00	Diminue avec l'âge du palmier
Phosphore	0,15 - 0,17	Liaison N / P
Potassium	0,70 - 1,00	Fonction du déficit hydrique
Magnésium	0,18 - 0,22	
Calcium	0,25 - 0,70	
Chlore	0,40 - 0,70	
Soufre	0,16 - 0,23	
Mineurs (ppm)		
Bore	5 - 15	

● La culture

● Les grands systèmes de culture

L'exploitation de la palmeraie naturelle est régulière dans certains pays (Nigeria, république démocratique du Congo) et sporadique dans d'autres (Guinée).

Les superficies mondiales en production de palmier à huile (environ 5,8 millions d'hectares) se répartissent entre :

- > des plantations industrielles (2500 à 10 000 ha par unité) qui assurent plus de 80 % de la production ;
- > des exploitations familiales de très petite taille (2 à 4 ha par exploitant), localisées autour d'une unité industrielle qui organise la collecte et le traitement de leurs régimes.

La Malaisie a développé un système d'exploitation où les planteurs, soumis à un organe fédérateur, ont acquis la maîtrise de leur filière. En Côte d'Ivoire et en Colombie se développent des plantations de taille intermédiaire (50 à 500 ha), appartenant à de gros planteurs privés qui cherchent à acquérir, à travers leurs associations, un traitement indépendant de leurs régimes.

L'association avec des cultures vivrières est parfois pratiquée au jeune âge. Les cultures les plus couramment associées sont le maïs, le manioc, le bananier plantain, l'igname et le riz pluvial. Elle ne concerne que des périodes courtes (inférieures à trois ans) et des superficies restreintes, uniquement en secteur villageois (inférieures à un hectare par exploitant). Leur conduite doit respecter les impératifs cultureux du palmier à huile sous peine d'altérer le potentiel économique de la palmeraie.

La durée de vie d'une palmeraie varie de seize à trente ans selon l'origine du matériel végétal, les conditions environnementales et la capacité de l'exploitant à récolter les grands arbres.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

Toutes les plantations, qu'elles soient familiales ou agro-industrielles, doivent se fournir en matériel végétal sélectionné auprès d'institutions ou de sociétés privées agréées. Ces dernières réalisent la germination des graines. Elles livrent à leurs clients le matériel sous la forme la mieux adaptée. Il doit pouvoir répondre à des contraintes spécifiques comme la tolérance à certaines maladies (fusariose).

La mise en place de la culture passe par deux étapes :

- > *la préparation du matériel végétal*, identique dans ses principes entre les plantations familiales et les plantations industrielles ;
- > *la création de la palmeraie* : préparation du terrain et mise en place des plants. Les planteurs familiaux doivent être conseillés pour cette étape par leur groupement ou un organisme spécialisé : localisation, superficie, densité, associations ou non, etc.

● La préparation du matériel végétal

Elle comporte trois phases : germination (quatre mois), pré-pépinière (quatre mois) et pépinière (huit à douze mois). La commande du matériel végétal doit être effectuée dix-huit à vingt-deux mois avant la date prévue de plantation. Pour un hectare de cent quarante-trois palmiers il faut commander deux cent graines germées ou cent soixante-dix plantules de pré-pépinière.

La pré-pépinière est réalisée avec des sachets perforés de polyéthylène transparent ou noir d'un litre de contenance, remplis avec de la terre humifère enrichie ou non de

compost. Elle est installée sous ombrière près d'un point d'eau, dans un lieu facile à surveiller. Les opérations suivantes doivent être réalisées :

- > désinfection quinze jours avant le repiquage ;
- > repiquage des graines germées différenciées par du personnel qualifié ;
- > entretien manuel des sachets et des alentours des planches ;
- > désombrage progressif sur trois semaines avant le transfert en pépinière (après quatre mois), pour éviter des brûlures de soleil ;
- > démariage au moment du repiquage en pépinière.

Les besoins en eau sont de 4 mm tous les deux jours.

La pépinière est installée près du lieu de plantation et d'un point d'eau. On emploie des sacs perforés de polyéthylène noir d'une contenance de quinze litres remplis avec un terreau de surface de qualité, tamisé et éventuellement désinfecté. Les plants sont repiqués à 70 cm de distance en triangle, le collet au niveau du sol.

Les besoins en eau sont de 4 à 5 mm par jour jusqu'à quatre mois puis 7 à 10 mm par jour. L'entretien est manuel. Une fumure à base d'urée (5 g/plant/mois) et d'engrais composé quaternaire (5 à 30 g/plant/mois) est apportée, à des doses mensuelles variant en fonction de l'âge des plants et des conditions locales (qualité du terreau, ensoleillement, etc.). En Afrique, un traitement préventif est réalisé contre le blast et la pourriture sèche pendant la période de sensibilité à la maladie (application de 0,2 g d'aldicarbe/plant). Une protection contre les maladies cryptogamiques foliaires doit être réalisée dans tous les cas. Une sélection rigoureuse des plants est réalisée en une seule fois vers le sixième mois.

Dans certaines conditions, on peut supprimer la pré-pépinière et pratiquer une pépinière directe : on repique des graines germées directement dans les grands sacs, au sein d'un dispositif resserré sous ombrière pendant trois mois puis en mettant en place les écartements définitifs à quatre mois.

● La création de la palmeraie

Pour les grandes plantations, elle doit être précédée d'une étude de faisabilité. La mise en place de la palmeraie est réalisée en trois étapes : la création des infrastructures, la préparation du terrain et la mise en place des plants.

Dans les plantations industrielles, elle fait l'objet d'une étude technique fine : localisation des passages d'eau, orientation du réseau de pistes et des lignes de plantation, système de drainage, etc. Les plantations villageoises doivent disposer d'un accès carrossable proche.

Le piquetage est réalisé sur une base de plantation à 9 mètres en triangle.

Les travaux de préparation du terrain doivent préserver la structure du sol, voire l'améliorer. En extension sur forêt, l'abattage est réalisé à la scie mécanique et les engins lourds doivent être réservés aux travaux d'andainage. L'andainage est réalisé un interligne sur deux. En extension sur forêt dégradée, il faut éliminer les adventices indésirables par traitement chimique (glyphosate). En replantation, l'abattage des vieilles palmeraies est manuel ou effectué avec un tracteur léger à chenilles. Il faut essoucher si la génération précédente était atteinte de *Ganoderma*. On replante dans l'interligne et on utilise du matériel tolérant en cas de précédent fusarié.

Des travaux d'aménagement du paysage (terrasses individuelles ou continues en courbes de niveau, diguettes) doivent éventuellement être entrepris. Un brûlage léger est parfois nécessaire. Le semis d'une plante de couverture fixatrice d'azote est indispensable pour contrôler l'érosion et les adventices indésirables, augmenter la matière organique disponible et équilibrer la microflore du sol. Dans le cas des petits planteurs, la préparation est généralement manuelle et le brûlage est une pratique fréquente.

La mise en place des plants a lieu de préférence au début de la saison la plus favorable et comprend quatre opérations : la trouaison, le portage des sacs, la plantation et la protection contre les ravageurs. La trouaison est manuelle ou mécanisée. Le trou doit être légèrement plus grand que le sac de pépinière sauf sur les sols très argileux. On apporte éventuellement une fumure de fond phosphatée dans le trou de plantation. Le collet doit être au niveau du sol après tassement de la terre autour de la motte de pépinière.

Il faut prévoir une protection contre les rats (grillage ou appâts empoisonnés). La préparation manuelle et les cultures intercalaires favorisent la présence des rongeurs. En replantation, les jeunes plants doivent être protégés contre les *Oryctes* (granulés d'insecticide dans la flèche, piégeage des adultes). On remplace les arbres manquants jusqu'à l'entrée en récolte.

● L'entretien

Pendant la période immature, il faut procéder au nettoyage manuel des ronds³ et à l'entretien sélectif de la plante de couverture pour éliminer les adventices gênantes.

Avant la mise en récolte, on effectue une récolte sanitaire (nettoyage des couronnes), un premier élagage (feuilles sèches) et une pollinisation assistée si le nombre d'inflorescences mâles est inférieur à quatre par hectare.

Pendant la période productive, on nettoie trois ou quatre fois par an les ronds sur un rayon minimum de 1,5 m avec un mélange d'herbicides de contact et de pré-levée ou par entretien manuel. On réalise également un entretien manuel des interlignes (une à trois fois par an). On évite l'entretien mécanique répété de l'interligne libre (compaction du sol). Si des adventices gênantes pour le palmier (*Chromolaena odorata*, *Imperata*, *Mikania*, etc) apparaissent, on réalise un entretien sélectif. Tous les neuf à douze mois on procède à un élagage pour faciliter l'accès aux régimes mûrs.

● La fumure

Tableau 13. Exemples de fumure au jeune âge (g/arbre) en plantations agro-industrielles

Année	Composé 15-15-6-4		Urée		Phosphate		Chlorure de potasse		Kiesérite	
	A	B	A	B	A(1)	B(2)	A	B	A	B(3)
N0		600	200		250	500	200		100	0
N1		1500	400	400	200		400	400	150	200
N2			800	1650	250	750	600	2400	250	1000

A : Afrique de l'Ouest, B : Nord Sumatra.

(1) : Super phosphate simple, (2) : Phosphate naturel, (3) : Dolomie.

3 1,5 à 2 m de rayon autour du pied les deux premières années, puis 1 m au delà de l'aplomb des feuilles, de quatre à six fois par an.

Ces doses sont fractionnées en deux à trois apports par an, excepté pour les engrais phosphatés et magnésiens. Dans les zones dont l'écologie est très favorable, des carences en bore sont fréquentes et doivent être corrigées : 30 à 100 g de Borax par an selon l'âge.

En Afrique de l'Ouest et du centre, on apporte aux arbres adultes 1 à 3 kg d'engrais par arbre et par an, essentiellement du potassium (principal facteur limitant), parfois du magnésium et du phosphore. En Asie du Sud-Est (Malaisie, Indonésie etc.), on apporte en plantation industrielle 6 à 9 kg d'engrais par arbre et par an surtout de l'azote, du potassium, du phosphore et localement du magnésium.

L'insuffisance d'encadrement couplé à une absence quasi générale de crédits de campagne entraîne des fertilisations faibles en plantations familiales, responsables de productions réduites.

● La défense des cultures

Le palmier à huile compte de très nombreux ravageurs parmi lesquels les lépidoptères défoliateurs sont les plus nombreux. Les deux cent quarante espèces répertoriées sur le palmier à huile et le cocotier appartiennent à près de trente familles différentes. C'est dans la famille des *Limacodidae* que l'on compte le plus grand nombre d'espèces, dont les chenilles très colorées qui sont recouvertes de soie dure et très urticante.

Parmi les défoliateurs, on observe également une grande variété d'espèces de coléoptères. Certains creusent des galeries dans l'épaisseur des feuilles, comme *Coelaenomenodera lameensis*, de la famille des *Chrysomelidae*, principal ravageur en Afrique de l'Ouest. D'autres s'attaquent aux jeunes feuilles non encore ouvertes, comme *Alurnus*, autre *Chrysomelidae* en Amérique latine. D'autres encore creusent des galeries dans la plante elle-même, comme les adultes des *Scarabeidae* du genre *Oryctes* spp. en Afrique et en Asie et les larves de plusieurs espèces de *Rhynchophorus* (*Curculionidae*), ou dans les régimes comme le lépidoptère *Castnia* en Amérique du Sud ou encore dans les racines (le lépidoptère *Sagalassa* en Amérique du Sud).

Enfin, de très nombreux insectes et acariens piquent les feuilles. Les dégâts directs de ces piqueurs sont le plus souvent peu importants. Mais ils sont fréquemment des vecteurs de maladies comme les punaises du genre *Lincus* qui transmettent la *marchitez* en Amérique latine ou la jasside *Recilia mica*, vecteur de la maladie du *blast*.

La quasi totalité des ravageurs ont leurs ennemis naturels, qui sont soit d'autres insectes, parasitoïdes d'oeufs et de larves principalement et prédateurs, soit des maladies à virus et à champignons. Sans la présence de ces facteurs antagonistes, on observerait des pullulations quasi permanentes de la plupart des ravageurs. Il convient donc de les respecter le plus possible au moment des traitements.

Pour la mise en place de ces derniers, on utilise si possible, des insecticides n'ayant pas d'action directe sur les parasitoïdes. C'est par exemple le cas de produits commerciaux contenant *Bacillus thuringiensis* qui émet une toxine ou de suspensions de virus spécifiques de chacune des espèces. Ces types d'insecticides sont à privilégier par rapport aux insecticides chimiques de synthèse comme les pyréthrinés qui présentent cependant l'avantage d'entraîner une mortalité très élevée et rapide de nombreux ravageurs.

Le recouvrement rapide, après abattage, des stipes de vieux palmiers avec une plante de couverture permet de réduire les infestations d'*Oryctes* dont les gîtes larvaires potentiels sont les stipes en décomposition. Enfin, les pièges lumineux ou olfactifs (avec des phéromones) font également partie des méthodes de lutte biologique.

Il convient de visiter régulièrement les plantations et de vérifier que les populations de ravageurs restent faibles. Dans le cas contraire, on entreprend un dénombrement des insectes afin d'intervenir sur la plus petite surface nécessaire si le niveau critique est atteint.

L'application des pesticides chimiques ou biologiques peut se faire selon différentes techniques : pulvérisateurs et atomiseurs classiques, thermonébulisateurs (*ultra low volume*) ou encore par voie systémique (par injection de l'insecticide dans le stipe ou par absorption radiculaire).

Le suivi des populations des ravageurs ainsi que les traitements sont évidemment plus aléatoires en plantations familiales par manque de compétence, d'équipements et de produits insecticides.

La pression parasitaire qui s'exerce sur le palmier à huile est variable suivant les continents. En Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, c'est la fusariose vasculaire qui constitue la menace la plus importante. Il s'agit d'une maladie provoquée par un champignon du sol, *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis*, qui pénètre par les racines et migre dans la plante par le xylème. Ce champignon provoque un dépérissement plus ou moins rapide de l'arbre, aboutissant à sa mort. Il existe toutefois des phénomènes de rémission et des cas de fusariose chronique, se manifestant par une survie plus ou moins longue du palmier, lequel ne produit plus de régimes.

La fusariose est une maladie de l'âge adulte, au cours d'un premier cycle de culture, mais une maladie du jeune âge en replantation. Les dégâts peuvent toucher la moitié des effectifs, en fonction de l'origine du matériel végétal planté. La sélection de variétés résistantes constitue la seule parade efficace à la maladie, même si certaines techniques culturales peuvent en atténuer l'incidence.

En Asie du Sud-Est, la pourriture basale du stipe prend une importance de plus en plus grande au cours des replantations successives. Elle est provoquée par *Ganoderma* spp., pourridié d'origine tellurique, dont les ravages peuvent se manifester sur plus de la moitié des effectifs plantés. La maladie est caractérisée par l'apparition de carpophores à la base du stipe, un faisceau de flèches fermées et le port en jupe des feuilles. La mort est inéluctable.

On ne connaît pas encore de matériel tolérant à cette maladie, que certaines pratiques culturales peuvent limiter (travail du sol avant replantation notamment). Essentiellement présente en Indonésie et en Malaisie, la pourriture basale du stipe provoque également des dégâts dans certaines zones d'Afrique centrale (Cameroun, République démocratique du Congo).

La pourriture du cœur du palmier à huile provoque d'énormes pertes en Amérique latine : des plantations entières ont disparu en Colombie, au Brésil, au Surinam et d'autres sont en train de disparaître en Equateur. On ignore s'il convient de ranger ces dépérissements parmi les maladies, dans la mesure où l'agent étiologique demeure inconnu.

On ne dispose d'aucune méthode de lutte, mais à long terme la sélection de matériel végétal résistant constitue la voie la plus prometteuse pour contenir les dégâts de la

pourriture du cœur. En effet, le palmier américain, *Elaeis oleifera* est connu pour le niveau de résistance élevé qu'il transmet à l'hybride interspécifique *E.oleifera* x *E.guineensis*. Compte tenu du faible potentiel de production de l'*oleifera*, c'est dans l'introduction de ses caractères de résistance dans *Elaeis guineensis* que semble se trouver la solution au grave problème posé par la pourriture du cœur.

D'autres maladies peuvent affecter le palmier à huile à différents stades, mais elles sont de moindre importance, dans la mesure où l'on dispose de méthodes de lutte directes ou indirectes (lutte contre le vecteur). Au jeune âge, essentiellement au stade de la pépinière, la cercosporiose, le *blast* ou la pourriture sèche du cœur sont, en Afrique, les maladies les plus importantes. On lutte directement contre la première par des traitements fongicides, contre les deux autres par des traitements insecticides contre le vecteur : *Recilia mica* dans le cas du *blast*, *Sogatella cubana* et *Sogatella kolophon* dans le cas de la pourriture sèche du cœur. Citons enfin les maladies de l'âge adulte répertoriées en Amérique Latine : l'anneau rouge, provoqué par un nématode et la *marchitez*, provoquée par un *Phytomonas*, dont on peut réduire l'incidence par des techniques culturales appropriées et la lutte contre leurs vecteurs.

● Les temps de travaux

Tableau 14. Temps de travaux pour la préparation du terrain et des pistes (par hectare planté)

Opérations	Nombre de journées	Nombre d'heures de tracteur	Observations
Extensions			
Abattage manuel ou mécanique	30 - 40		Tronçonneuse
Dégagement lignes	6 - 10		Tronçonneuse
Andainage manuel	45		Tronçonneuse
ou andainage mécanique	2	3 - 4	Tracteur à chenilles
Ouverture et profilage des pistes	0,4	2	
Brûlage	1		
Replantations			
Abattage manuel	40 - 50		Ciseau
ou abattage et andainage mécanique	0,75	1	Tracteur à chenilles moyen
Lutte contre adventices	5		

Tableau 15. Temps de travaux pour la plantation (par hectare planté)

Opérations	Nombre de journées	Nombre d'heures de tracteur	Observations
Piquetage	11		
Semis plante de couverture	2-3		5 à 12 kg/ha
Transport plants	1-3	0,5-1,5	Tracteurs à roues
Trouaison, mise en terre	4-10		Houes
Protection contre les rongeurs			
Pose grillage cylindrique	1		
ou pose grillage spirale	2-3		
Pose appâts	0,1		Par passage

● La récolte et les opérations post-récolte

● La récolte

La récolte du palmier à huile commence vers deux ans et demi ou trois ans.

Tableau 16. Outils utilisés pour la récolte du palmier à huile

Age de l'arbre	Outil utilisé
< 5 ans	Ciseau étroit
5 à 7 ans	Machette ou ciseau large
> 7 ans	Faucille emmanchée

Pour les arbres de plus de 6 m de hauteur, on utilise des systèmes d'allonges ou de perches coulissantes.

Les régimes verts (sans fruits détachés) et trop mûrs (plus de 15 % du poids du régime en fruits détachés) sont préjudiciables à la qualité de la récolte ou entraînent des pertes d'huile. Le seuil de maturité se situe entre un et trois fruits détachés dans le rond avant la coupe.

Le transport des régimes au bord du champ est effectué par portage manuel, en brouette ou en petite remorque à traction animale. Les régimes sont ensuite acheminés par camion, tracteur ou parfois par chemin de fer à voie étroite sur le carreau de l'usine.

Les planteurs familiaux vendent leurs régimes bord-champ ou bien les transportent ou se les font transporter jusqu'au carreau de l'huilerie, à moins qu'ils ne fabriquent et ne valorisent eux-mêmes leur huile (extraction artisanale en Afrique).

● L'extraction de l'huile

L'extraction de l'huile des régimes de palme est réalisée dans des unités spécialisées. Ces unités se répartissent en fonction de leur capacité et de la technologie mise en œuvre.

Les unités spécialisées d'extraction d'huile de palme

- Inférieure à 500 kg/heure, pas de presse : unité d'extraction traditionnelle (Afrique).
- Inférieure à 500 kg/heure, extraction à chaud : unité artisanale.
- 0,5 à 3 t de fruits/heure : mini-huilerie, huilerie en container, procédé Drupalm (180 à 1 000 ha de plantation) ;
- 3 à 10 t de régimes/heure : huilerie semi-industrielle, procédé Drupalm (500 à 1 500 ha de plantation).
- 20 à 60 t régimes/heure : huilerie industrielle (3 000 à 11 000 hectares de plantation).

Les produits extraits des régimes sont l'huile de palme (22-25 % du poids de régimes frais) et les palmistes (3-6 % du poids de régimes frais). Les critères de qualité export de l'huile de palme sont les suivants : impuretés < 0,01 %, eau < 0,1%, acidité palmique < 5 %.

● La production actuelle et les perspectives

● Les évolutions récentes de la production

Tableau 17. La production d'huile de palme dans le monde (source : *Oil World Annual 1998* et FAO 2002)

	Production (milliers de tonnes)			
	1990	1994	1998	2000
Cameroun	108	125	137	125
Colombie	226	350	425	524
Côte d'Ivoire	238	290	270	254
Equateur	135	178	213	245
Indonésie	2 413	3 860	5 400	6 950
Malaisie	6 084	7 222	8 660	10 840
Nigeria	580	640	612	670
Papouasie Nouvelle Guinée	132	225	280	299
Thaïlande	226	316	370	560
Autres	497	931	1093	1 431
Total	10 639	14 137	17 460	21 898

Tableau 18. Les trois premiers pays exportateurs et importateurs (en milliers de tonnes). Source FAO

Pays exportateurs			Pays importateurs		
	<i>Pays</i>	<i>Quantité</i>		<i>Pays</i>	<i>Quantité</i>
1	Malaisie	8 585	1	Union européenne	747
2	Indonésie	4 110	2	République populaire de Chine	482
3	Papouasie Nouvelle Guinée	254	3	Inde	907

● L'organisation et les perspectives de la filière

La superficie de la palmeraie mondiale améliorée est de six millions d'hectares (dont 80 % en Asie du Sud-Est).

La filière industrielle (80 % de la palmeraie mondiale) est organisée de manière variée suivant les pays :

- > *Amérique latine et centrale, Asie du Sud-Est, sauf Indonésie et partiellement Malaisie* : plantations industrielles appartenant à de grands groupes privés, qui maîtrisent l'extraction de l'huile de palme et souvent le raffinage de l'huile et la fabrication de dérivés ;
- > *Malaisie* : une partie du secteur villageois est organisée au sein du Felda sous la forme de grands blocs ressemblant à des plantations industrielles ;
- > *Indonésie, depuis le début des années 70* : plantations industrielles privées à capitaux nationaux ou étrangers, plantations d'Etat et plantations villageoises en blocs (situation similaire à la Malaisie) ;
- > *en Afrique, jusqu'au milieu des années 90* : essentiellement des sociétés d'Etat. Ces sociétés sont presque toutes privatisées ou en cours de privatisation.

La filière villageoise (20 % des superficies), caractérisée par une faible surface par exploitant (entre deux et cinq ha) est présente en Afrique de l'Ouest et du Centre et surtout en Indonésie (80 % du secteur, 970 000 ha plantés).

● Les questions à la recherche

La filière, tournée vers l'exportation, est demandeuse :

- > de matériel végétal à haut potentiel de production,
- > d'itinéraires techniques adaptés,
- > de sources d'amélioration de la productivité du travail et de l'efficacité de l'outil industriel d'extraction,
- > de pistes d'accroissement de la valeur ajoutée des produits et des sous-produits et de réduction des atteintes à l'environnement.

Pour les chercheurs, les thèmes suivants sont prioritaires :

- > mieux comprendre le fonctionnement de la plante dans son environnement et construire des modèles prévisionnistes ;
- > fournir un matériel végétal hybride à haut potentiel de production ;
- > réaliser la multiplication végétative par la voie de la culture *in vitro* ;
- > favoriser des rendements optimaux et profiter d'une bonne répartition de la production tout au long de l'année dans les meilleures conditions ;
- > en zones limitantes, mieux étaler la production ;
- > améliorer la durabilité de la culture en replantation : évolution et fertilité des sols, parades aux pressions des maladies, des ravageurs et des mauvaises herbes ;
- > former les petits planteurs à la gestion globale de leur exploitation pour accroître leur productivité : choix du matériel végétal, fertilisation, régularité de l'exploitation, commercialisation de la production ;
- > améliorer la rentabilité des huileries ;
- > diversifier les produits commercialisés ;
- > apprécier et prévoir les évolutions de la filière.

LE SÉSAME

Sesamum indicum L. (syn. *Sesamum orientale* L.)

Anglais : sesame, benniseed

Espagnol : sesamo, ajonjoli

Famille des Pedaliaceae

● La plante et son environnement

Le sésame cultivé serait originaire d’Ethiopie et se serait diffusé très tôt en Chine et en Inde, pays qui constituent des centres secondaires de diffusion.

● L’appareil végétatif

C’est une plante annuelle érigée de 0,5 à 2 m de hauteur, à cycle variant de quatre-vingts à cent quatre-vingts jours. Elle a une racine pivotante d’environ 90 cm de long, avec un réseau dense de racines secondaires. Sa tige est dressée à section quadrangulaire, cannelée, plus ou moins velue, simple ou ramifiée selon les variétés. Ses feuilles sont lobées, découpées ou entières et variables de forme et de dimension selon la variété et l’âge.

● L’appareil reproducteur

Une, deux ou trois fleurs apparaissent dans l’aisselle des feuilles. Le sésame est normalement une plante autogame, mais la fécondation peut se réaliser grâce à des agents extérieurs comme les insectes. Le taux d’allogamie est d’environ 5 % mais il varie dans une fourchette importante suivant la variété (des taux de 65 % sont cités).

Après avoir été fécondées, les fleurs se transforment en capsules oblongues et profondément cannelées, généralement déhiscentes. Les graines sont petites, lisses ou réticulées, blanches, jaunes, brunes ou noires. Le poids de mille graines varie de 2 à 4 g. La graine contient environ la moitié d’huile et le quart de protéines, le taux d’huile variant suivant les variétés et les conditions de culture.

● La culture

Le sésame est cultivé sous les tropiques et dans les zones tempérées chaudes. Il est bien connu en Afrique (Ethiopie, Soudan, République centrafricaine, Burkina Faso, Nigeria), où les conditions de production sont généralement médiocres. La culture y est souvent mise en place après les plantes principales (culture dérobée) et reléguée sur les sols les plus pauvres. Ces conditions expliquent les très faibles rendements obtenus (350 kg/ha, moyenne africaine). Le sésame n’en joue pas moins un rôle important dans les systèmes de production traditionnels. Il permet à la fois de valoriser les terres marginales et d’équilibrer le calendrier de travail de l’agriculteur qui en tire, à peu de frais, un complément de ressources appréciable. Le sésame pousse bien dans les sols riches, légers et profonds sans être trop sableux.

Le lit de semence doit être soigneusement préparé. Les semences sont traitées contre les insectes et moisissures (on utilise les produits vulgarisés pour l’arachide et les céréales). Le semis s’effectue à plat, entre 80 000 et 400 000 pieds/ha, en lignes

continues ou à la volée, à 1 ou 2 cm de profondeur. On tasse le sol après semis. La fertilisation est rare en milieu paysan mais 60 kg/ha d'engrais coton donnent de bons résultats. Les dégâts d'insectes peuvent être importants : citons *Antigastra catalaunis* (chenille), *Asphondylla sesami* (mouche). Un traitement préventif dès l'apparition des fleurs est recommandé.

La maturité se manifeste par la défoliation et le jaunissement des capsules. La récolte se fait avant déhiscence. Les pieds réunis en bottes sont placés verticalement, séchés deux semaines puis battus sur place en renversant les bottes. On compte cent trente-cinq jours de travail en culture manuelle bien conduite, en lignes, avec sarclages. Des méthodes de culture mécanisée intensive, atteignant 1,5 t/ha et plus, sont mises en œuvre aux Etats-Unis et au Vénézuëla.

● **La production actuelle**

La production mondiale atteignait 3 200 000 t en 2001 : 2 270 000 t produites en Asie (Inde 730 000 t, Chine 790 000 t) et 740 000 t en Afrique (Soudan 300 000 t, Ouganda 97 000 t, Nigeria 69 000 t) selon les données de la FAO. Le commerce mondial porte sur moins du quart de la récolte, représentant environ 1% du marché des oléagineux. Les importations sont dominées par un petit nombre de pays, dont le Japon et les Etats-Unis.

LE SOJA

Glycine max (L.) Merr. (syn. *Glycine hispida* (Moench) Maxim.),

Anglais : soyabean

Espagnol : soya

Famille des *Fabaceae* (syn. *Papilionacées*), groupe des légumineuses.

● **Les utilisations du soja**

Le soja est une plante stratégique pour l'alimentation humaine directe (notamment dans les pays en développement producteurs) et pour l'agro-industrie : près de 20 % de la production mondiale d'huile et de matières grasses alimentaires en sont issus, plus que d'aucune autre source animale ou végétale. Après extraction artisanale ou industrielle de l'huile (20 à 25 %), le tourteau résiduel contient de 45 à 50 % de protéines de haute qualité, dont la composition en acides aminés est proche de l'optimum défini par les nutritionnistes. Ces protéines interviennent dans une très large gamme de préparations culinaires traditionnelles, surtout en Extrême-orient (Tofu en Chine, Tahu et Tempé en Indonésie, etc), où ils constituent un indispensable substitut à la viande pour les populations à faibles revenus.

Le soja doit être consommé cuit pour en éliminer les facteurs anti-nutritionnels. Cette contrainte peut expliquer les difficultés d'introduction du soja dans les zones où il ne fait pas partie des habitudes alimentaires (en Afrique notamment). Un effort de communication s'impose, autant d'ailleurs dans les pays en développement que dans les pays industrialisés, pour faire connaître et apprécier le soja entier, les farines, les gruaux, les concentrés de protéines, les laits, yaourts et substituts divers produits à partir du soja.

La part du soja dans l'alimentation du bétail, en complément de maïs et d'autres tourteaux, continue de croître dans les pays développés au point d'y devenir incontournable. On parle même d'*arme alimentaire* à propos des pays qui détiennent les clés de ce marché, au détriment notamment de l'Europe qui ne produit qu'une très petite partie de ses besoins. La querelle sur les organismes génétiquement modifiés (OGM) touche le soja et incite les pays exportateurs (le Brésil surtout) à modifier en conséquence leur filière de production pour proposer du soja sans OGM. On voit apparaître des labels *soja bio* ou *soja de pays* dans les pays européens qui tentent de s'affranchir des importations en développant leur production nationale.

L'Afrique intervient très peu sur le marché du soja, malgré quelques réussites tant au niveau de la production commerciale (Zimbabwe) que de la consommation d'une production locale. Des programmes d'introduction du soja ont ainsi été mis en place par des Etats (Nigeria), des centres internationaux (l'ITA) ou des organisations non gouvernementales.

Le soja intervient sous des formes multiples dans l'industrie alimentaire : margarine, biscuit, boulangerie, aliments de régime et divers. Il est également utilisé comme fourrage. Les utilisations non-alimentaires de l'huile sont nombreuses : vernis, peintures, lubrifiants, glycérides, laques, huiles siccatives, textiles artificiels, cellulose, etc.

● **La plante et son environnement**

● **L'origine et l'extension**

Le soja serait originaire du centre ou du nord de la Chine. Les premières références écrites sur la plante seraient antérieures au deuxième millénaire avant notre ère, mais la culture n'aurait pris de l'extension qu'aux alentours du XI^e siècle avant JC, avant d'être introduite au Japon et en Corée. Elle reste confinée à l'Asie jusqu'au début du XX^e siècle, malgré quelques introductions dans des collections botaniques et quelques utilisations pharmacologiques à portée restreinte en Europe.

C'est aux Etats-Unis que la culture prend pour la première fois une ampleur commerciale hors d'Asie. Elle y est pratiquée dans un premier temps pour la production de fourrage. La production de graines prend ensuite tardivement le dessus : 40 % en 1939, 85 % en 1947. La culture du soja occupe aujourd'hui, aux Etats-Unis, la seconde place (en valeur) derrière le maïs. Le pays assure près de la moitié de la production et des exportations mondiales.

● **La morphologie**

Le soja est une plante herbacée, érigée, annuelle, de 0,3 à 1 m de hauteur. Chez les types déterminés, la tige cesse de grandir à la floraison alors qu'elle continue de s'allonger chez les indéterminés.

La tige émet des rameaux latéraux à partir des bourgeons axillaires de la base, tandis que les bourgeons de la partie moyenne et supérieure donnent des fleurs. Les feuilles sont trifoliées, comparables à celles du haricot, et les fleurs papilionacées typiques sont émises en grappes.

L'auto-pollinisation est de règle (taux de fécondation croisée : 0,5 à 1 %). Le rôle pollinisateur des insectes (abeilles surtout) est important.

Le taux d'avortement est élevé: une fleur sur quatre donne un fruit. Celui-ci est une gousse verte, puis brune à maturité (après défoliation), pileuse, contenant de deux à trois graines de couleur variable (de jaune clair à noir, dominante crème).

La racine pivotante peut s'enfoncer de 1,5 m, mais le système racinaire descend rarement au-dessous de la couche labourée⁴. Les racines hébergent des bactéries symbiotiques fixant l'azote atmosphérique lorsque les conditions sont favorables (la fixation est inhibée par l'acidité du sol).

● L'écologie du soja

Le développement de la plante est commandé par son caractère photopériodique de plante de jours longs : les variétés sont réparties en dix classes de maturité, classées de 00 à VIII, dont la zone de culture correspond pour chacune à une bande de 200 à 300 km de large en latitude. Les variétés de ces groupes ont des exigences bien définies en durée de jour et en température : en Amérique du Nord le groupe 00 (le plus hâtif) correspond au sud du Canada et le groupe VIII à la Floride.

La floraison est déclenchée par certaines valeurs de la durée du jour et de la somme des températures, quelle que soit la date de semis. Il convient donc de bien s'informer des conditions locales et du matériel végétal disponible avant d'entreprendre une culture de soja. La méconnaissance de ces mécanismes complexes est cause de nombreux échecs en culture de soja.

Les autres facteurs du milieu, en comparaison, sont peu contraignants : la gamme des variétés disponibles couvre pratiquement toutes les régions agricoles du globe. Une pluviométrie bien répartie de 500 à 800 mm est considérée comme optimale, mais la plante est sensible à l'engorgement du sol et une humidité excessive en période de maturation nuit à la viabilité des semences comme à la bonne conservation du produit. Les sols limoneux fertiles et bien drainés sont les plus favorables : le soja, à cet égard comme à d'autres, est beaucoup plus exigeant que l'arachide. Le pH optimal du sol se situe de 6 à 6,5 et les sols salins sont à proscrire.

● La culture

● Le choix variétal et la conservation des semences

Le choix variétal est commandé par la latitude et les conditions climatiques locales. Ces facteurs sont peu contraignants en zone sub-équatoriale, où le choix se fera surtout en fonction de la longueur du cycle et de l'intensité culturale recherchée, souvent très forte : deux ou trois cultures par an, en rotation avec le riz et d'autres céréales. Les variétés hâtives sont alors préférées, malgré leur plus faible potentiel de production.

Dans les autres zones, il convient d'apporter la plus grande attention à la période optimale de semis en fonction de la variété et de la latitude. Le succès dépend alors de la répartition pluviométrique qui permet ou non de semer à la bonne date. Cette contrainte majeure est levée, bien entendu, en culture irriguée partielle ou totale.

La conservation des semences représente une contrainte majeure : l'humidité et la température ambiantes en zone tropicale humide réduisent en général à quatre ou cinq mois la durée de conservation en magasins villageois. Il faut réduire rapidement la

⁴ 50 % en poids sec dans l'horizon 0-15 cm.

teneur en eau des semences à 10 % et les stocker à 15-20°C pour pouvoir les conserver d'une année sur l'autre. Si ces conditions ne sont pas réunies, il est nécessaire de décaler la production semencière dans le temps (contre-saison) ou dans l'espace (importation) afin de réduire la période de stockage. Il existe très rarement dans les pays en développement des services ou opérateurs semenciers capables de mettre de la semence de soja à la disposition des petits producteurs, à un prix abordable pour eux.

● **La préparation du sol et le semis**

Les labours profonds sont réservés aux sols compacts ou indurés (argile, latérite). Le lit de semence doit permettre un semis de trois à cinq centimètres de profondeur et une imbibition des graines à 50 % d'humidité avant le démarrage de la germination. La température optimale du lit de semences est de 25 à 33°C, avec des niveaux limites situés à 15 et 37°C (10°C pour les variétés les plus tolérantes au froid). Des doses de semis de 50 à 70 kg/ha, selon la taille des graines (de 10 à 40 g pour 100 graines, selon les variétés), conduisent à des densités de 250 000 à 400 000 plantes à l'hectare.

L'écartement entre lignes, en culture mécanisée, est déterminé par l'équipement utilisé, les petits interlignes (40 à 60 cm) étant préférables. En semis manuel, on sème en poquets de deux à six graines, selon la valeur germinative (souvent médiocre) des semences utilisées. L'inoculation rhizobienne, lorsqu'elle est pratiquée simultanément avec le traitement fongicide des semences, se fait de préférence sous la forme de granules, le fongicide étant apporté en enrobage. Cette inoculation est soit périodique (tous les quatre ans en Thaïlande), soit répétée sur chaque culture (Afrique du Sud), soit réalisée lors de la première culture, avec une souche de rhizobium spécifique de la variété de soja utilisée.

● **Les techniques culturales**

● **Le désherbage**

Il doit être effectué précocement, dès que les plantes atteignent 5 à 10 cm de hauteur. Une préparation du sol soigneuse et l'utilisation d'herbicide permettent de lever ce goulet d'étranglement. Il faut faire attention à la sensibilité du soja aux effets résiduels d'herbicides appliqués sur maïs (atrazine) ou sur coton (fluridone, cyanazine). Le soja se prête particulièrement bien aux techniques de travail minimal du sol, mais se pose alors le problème de la maîtrise de l'enherbement.

● **L'irrigation**

Elle est généralement réservée à la céréale en rotation, mais une irrigation ponctuelle permettant un semis à la bonne date est un facteur important de réussite. La plante craint l'excès d'eau même temporaire. Il convient de lui apporter l'équivalent de 600 à 900 mm sur le cycle, en préférant des apports d'eau massifs à larges intervalles, et en irriguant lorsque la réserve du sol tombe au-dessous de 80 % de la capacité au champ pendant la période de sensibilité (de la floraison au début du remplissage des gousses). L'eau saumâtre est à éviter absolument et un bon drainage est indispensable. Pour le faciliter, le soja irrigué est généralement planté en billons ou en planches surélevées de largeur variable. La culture associée avec riz (dans les sillons), soja et maïs (sur les planches) est alors possible (Indonésie).

● La fertilisation

Elle est rarement pratiquée dans les systèmes traditionnels. Bien qu'il soit théoriquement établi que la fixation rhizobienne suffit aux besoins de la plante jusqu'à un rendement de 3,5 t/ha environ, un apport d'azote (50 kg d'urée en début de croissance) est très souvent bénéfique. Le phosphore est l'élément le plus important, à combiner avec le soufre (superphosphate simple). La potasse, bien qu'exportée en grandes quantités par la plante, donne des résultats parfois erratiques en fertilisation et son apport est généralement réservé aux cultures irriguées.

● La défense des cultures

Elle est très importante en zone tropicale humide, surtout contre les insectes. Les pertes imputées aux prédateurs et aux maladies sont estimées en Asie à 34%. Les insectes défoliateurs, les perceurs de tiges, les suceurs de sève, les thrips et jassides, les pucerons vecteurs de maladies virales (mosaïque, nanisme), occasionnent des dégâts importants contre lesquels le petit producteur est généralement démuni. L'utilisation de pesticides se fait trop souvent au coup par coup, en fonction des produits et des moyens disponibles localement.

Les maladies les plus répandues

Ce sont le bacterial blight (*Pseudomonas syringae*), la rouille (*Phakopsosa pachyrhizi*), les cercosporioses (*Cercospora*, *Alternaria*), les pourritures des plantules et du collet (*Macrophomina*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, etc.) et les mildious. Il n'est pas possible de ramener les traitements à des recommandations simples. Pour plus de détails, le lecteur consultera avec profit le *Compendium of soybean diseases*, périodiquement actualisé par l'American Phytopathological Society, et les brochures éditées par le CETIOM (Centre d'études techniques interprofessionnel des oléagineux, France).

● La récolte et les opérations post-récolte

La plante est récoltée lorsque la majorité des feuilles sont tombées, que les gousses inférieures sont sèches et brunâtres et que les graines ont pris leur couleur définitive. Leur teneur en eau est alors de 14 ou 15 %. Au-dessus, il est nécessaire de procéder à un séchage.

La récolte est manuelle ou mécanique. L'utilisation de machines n'est possible que si les premières gousses formées sont à une hauteur suffisante (facteur variétal). Elle doit prendre en compte les risques de pertes par déhiscence. Les pertes liées à ces opérations peuvent atteindre 20 % de la récolte.

La production semencière doit s'accompagner de précautions particulières car une récolte trop tardive ou un battage trop violent diminuent la faculté germinative des semences. Les variétés à tégument épais sont plus résistantes à ces traumatismes et supportent des durées de stockage plus longues. Des graines sèches, propres et entières, stockées à une température inférieure à 20 %, ne posent pas de problèmes de conservation dans la limite d'une année.

Pour les semences conservées sur l'exploitation, en régions tropicales humides, il est recommandé de stocker les graines bien sèches mélangées (3 %) à du talc, de la cendre

de bois ou tout autre produit hygroscopique, dans des récipients clos de faible contenance (20 à 50 l) comme des fûts, des jerricans (à parois opaques) ou des sacs à double paroi en papier ou polyéthylène + aluminium.

● La production actuelle et les perspectives

● Les principaux indicateurs du marché du soja

Tableau 19. La production de soja en 2000 dans le monde (en millions de tonnes)

	Graines	Huile	Tourteau
Production (Mt)	161,2	23,7	103,3
Principaux producteurs	Etats-Unis: 75,1 Brésil: 32,7		
Commerce mondial	30 %	29 %	36 %
Principaux exportateurs (Mt)	Etats-Unis: 27,2 Brésil: 11,5	Argentine: 3,0 Europe: 1,6	Argentine: 12,9 Brésil: 9,4
Principaux importateurs (Mt)	Europe: 16,1 Japon: 4,8	Iran: 0,7 Europe: 0,6	Europe: 18 Pays arabes: 3,1

Source : *FAO Yearbook et Public Ledger*.

La culture du soja couvre 76 millions d'hectares (2001). C'est la première culture oléagineuse au monde. Les exportations des Etats-Unis tendent à décroître, au profit du Brésil.

Les importations de la Chine sont appelées à croître (tourteau). La demande en graines entières pour la consommation humaine reste concentrée sur l'Asie. L'avenir et l'évolution de la filière, sur le moyen terme, dépendent du débat sur les OGM et des exigences des importateurs qui en découleront.

Dans les pays tropicaux les grands problèmes auxquels doivent faire face les chercheurs et les opérateurs de la filière soja, peuvent être récapitulés ainsi :

- > une meilleure prise en compte de la valorisation de la fraction protéique pour l'alimentation humaine, dans les pays où la culture a été introduite en milieu paysan (Nigeria, Côte d'Ivoire) ;
- > une meilleure intégration agronomique et économique dans les systèmes à dominante rizicole (sud-est asiatique) ;
- > une meilleure maîtrise de la technologie post-récolte et une amélioration de la production et de la distribution de semences en milieu traditionnel (pays en développement) ;
- > la consolidation de la filière par l'amélioration durable et rentable de la productivité et de la qualité des produits, dans les pays où la production locale est concurrencée par le marché international ;
- > la mise au point, la fabrication et la diffusion de produits nouveaux répondant à l'évolution de la demande : sojas sans OGM, bio, diététique, substituts de la viande et des produits laitiers.

LE TOURNESOL

Helianthus annuus

Anglais : sunflower

Espagnol : girasol, mirasol, hierba del sol

Portugais : girassol

Famille des Asteraceae

● Les utilisations du tournesol

Le tournesol est originaire d'Amérique du Nord et a été introduit en Europe vers 1510 par les explorateurs espagnols. Il s'y est progressivement diffusé jusqu'en Russie. Il a d'abord été cultivé comme plante ornementale puis pour ses graines consommées grillées ou crues comme friandises. La production d'huile s'est développée au XVIII^e siècle à partir de la Russie. En 1880, des variétés sélectionnées en Europe ont été introduites en Amérique du Nord et au XX^e siècle l'aire de culture s'est étendue vers l'Asie, le Moyen Orient, l'Australie et l'Afrique. La sélection a permis des progrès importants, notamment pour les critères de teneur en huile et de résistance à la pyrale.

Le tournesol est principalement cultivé pour ses graines, qui constituent la seconde source mondiale d'huile comestible. L'huile de tournesol est utilisée dans l'alimentation (pour la cuisine et la fabrication de margarine) et en lipochimie (lubrifiants, savon, détergents et peintures). Le tourteau, riche en protéines, est utilisé pour l'alimentation du bétail (porcs, volaille, bovins). On consomme aussi les graines salées, crues ou grillées. Les graines crues constituent un aliment de base pour les volailles et les oiseaux de compagnie. Les plants sont utilisés comme fourrage ou engrais vert.

● La plante

C'est une plante annuelle, dicotylédone, de 0,70 à 3,5 m de haut, avec des feuilles de 10 à 30 cm de long et 5 à 20 cm de large. Elle possède la plupart du temps une seule inflorescence appelée capitule, pouvant mesurer de 10 à 40 cm de diamètre, constitué de fleurs tubulaires ou fleurons. Le capitule est susceptible de suivre le soleil. La racine pivotante peut descendre jusqu'à trois mètres de profondeur et la plante développe également un faisceau de racines en surface. La reproduction de la plante cultivée s'opère par la semence.

Le tournesol se développe dans des zones où la température moyenne annuelle varie de 6 à 28°C, où les précipitations annuelles sont comprises entre 200 à 4 000 mm et où le pH des sols est compris entre 4,5 et 8,7, avec un optimum entre 6 et 7,2. Dans les zones tropicales le tournesol se développe en moyenne ou haute altitude. Les jeunes plantes résistent au gel peu rigoureux. Le tournesol se développe uniquement en zone de fort ensoleillement. Comme son système racinaire double est efficace, le tournesol est résistant à la sécheresse. L'apport d'eau est toutefois essentiel pendant la période de floraison. Le tournesol pousse dans conditions pédologiques très variées : latérite, calcaire, toxicité aluminique, salinité, sable. Il est cependant intolérant aux sols acides et aux sols engorgés et son système racinaire est sensible aux accidents de structure et aux tassements.

● **La culture**

Les graines sont semées entre 2,5 et 7,5 cm de profondeur (moyenne : 5 cm). La germination a lieu dès 4°C. Elle est rapide si la température du sol est comprise entre 8 et 10°C et doit se faire en sept jours maximum (pour limiter les risques de pourrissement). La densité de plantation varie de 5 à 6 pieds/m².

Le rendement est meilleur si les conditions suivantes sont réunies :

- > une croissance végétative modérée et sans exubérance (sinon les besoins en eau sont élevés et l'appareil végétatif est favorisé au détriment de l'appareil reproducteur) ;
- > une floraison sans à coup climatique : les déficits en eau sont à éviter durant cette période ;
- > la persistance de feuilles vertes et une température élevée pendant le remplissage des graines.

La pollinisation, croisée (protandrie), est facilitée par la présence de ruches d'abeilles (de deux à trois ruches/ha). Un bon contrôle des adventices est nécessaire dans la phase d'implantation et de croissance. Les risques de maladies fongiques sont élevés. Les principaux ravageurs sont les limaces, les chenilles, les vers gris et thrips, mais aussi les oiseaux.

Le cycle du tournesol varie de cent vingt à cent cinquante jours, avec une période critique pour l'eau, vingt jours avant et vingt jours après la floraison.

● **La récolte et les opérations post-récolte**

La récolte peut être mécanisée : la moissonneuse taille la tige en dessous des inflorescences et laisse un chaume d'environ 50 cm de hauteur. Elle peut être manuelle et, dans ce cas, seules les capitules sont ramassés. Les capitules sont ensuite battus pour séparer les graines de leur support. Dans certains pays, les tiges sont récoltées séparément et servent de combustible. La récolte doit être réalisée alors que l'humidité des graines est la plus basse possible : inférieure ou égale à 12 % pour un stockage de courte durée et à 10 % pour un stockage de longue durée.

Les graines contiennent 25 à 35 % d'huile, certains cultivars sélectionnés vont jusqu'à 50 %. L'huile est composée de 44 à 72 % d'acide linoléique et 13 à 20 % de protéines facilement digestibles.

Les principaux pays producteurs sont l'Argentine, la Russie, l'Ukraine, la Chine, la France et les Etats-Unis. 26 millions de tonnes ont été produits en 2000. Les principaux pays importateurs sont l'Union Européenne et la Turquie.

Bibliographie

L'arachide

R. SCHILLING et al., 1997, *L'arachide*, Maisonneuve et Larose.

J. SMARTT, CHAPMAN and HALL, 1994, *The groundnut crop*.

Le carthame

Plant Resources of South-East Asia (PROSEA), Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Majors commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables. N° 1-4, 5 (1), 6-8, CD Rom, Wageningen, 1997.

Le cocotier

DE TAFFIN G., 1993, *Le cocotier*, Maisonneuve et Larose - Acct., Paris, coll. Le technicien d'agriculture tropicale.

Le palmier à huile

HARTLEY C.W.S., *The oil palm* (third edition). Longman Scientific and Technical Ed., 1988.

JACQUEMARD J. CH., *Le palmier à huile*. Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose Ed., Paris, France, 1995.

PANTZARIS T.P., *Le livret des usages de l'huile de palme*. PORIM Ed., Kuala Lumpur, Malaisie, 1988.

Le tournesol

Le tournesol, les techniques culturales. Le contexte économique, CETIOM, 1999.

SERIEYS H., 1995, *Les voyages du tournesol*, in *La garance voyageuse*, n° 29, p 13 à 17.

Adresses utiles

Collections de semences arachidières

Groundnut Germplasm Project, Dakar, Sénégal, fax : 823 92 65.

ICRISAT, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, fax : 91 40 24 12 39, Hyderabad, Inde.

Fabricants de matériels cités : SISMAR, BP 3214, Dakar, Sénégal.

Les espèces fruitières

À partir des contributions de F. Bakry (CIRAD),
C. Didier (CIRAD), J. Garry (CIRAD), F. le Bellec (CIRAD),
T. Lescot (CIRAD), A. Pinon (CIRAD), J.Y. Rey (CIRAD),
C. Teisson (CIRAD), H. Vannière (CIRAD)

- > Les agrumes
- > L'anacardier
- > L'ananas
- > L'avocatier
- > Les bananiers
- > Le litchi et le ramboutan
- > Le manguier
- > Le palmier dattier
- > Le papayer
- > Les espèces fruitières
d'importance secondaire

LES AGRUMES

Trois genres : Fortunella, Poncirus, Citrus

Anglais : citrus

Espagnol : cítricos

Portugais : citros

Famille des Rutaceae

● Les utilisations des agrumes

Les agrumes représentent le groupe de fruits le plus cultivé au niveau mondial : plus de 90 millions de tonnes en 1999. Ils sont essentiellement cultivés pour leurs fruits destinés à la consommation en frais ou à la transformation : extraction du jus principalement (oranges, pomelos, mandarines, citrons). La richesse en vitamines A, B et C, la teneur en jus et en fibres équilibrent la ration alimentaire de base. On peut également élaborer des confitures ou des fruits confits à partir des fruits. Dans les régions les plus arides, les agrumes (souvent des limes ou des citrons) sont séchés pour être conservés avant d'accommoder les plats cuisinés.

Les fleurs et feuilles des variétés les plus aromatiques (bigaradiers à fleurs, bergamotiers, citronniers...) sont distillées et les huiles essentielles utilisées par l'industrie de la parfumerie. Les tourteaux, sous-produits de la transformation, peuvent être utilisés en alimentation animale.

● La plante et son environnement

Les agrumes sont originaires du Sud-Est asiatique. Leur diversification a eu lieu dans une vaste zone comprenant les piémonts de l'Himalaya, la Birmanie, l'Indonésie, la péninsule Indochinoise, le sud de la Chine. Les conditions climatiques y sont variées, allant du tropical humide à des climats plus contrastés avec une saison fraîche marquée.

Domestiqués par l'homme depuis plusieurs millénaires, les agrumes ont été diffusés dans le monde entier. Au cours de cette lente migration des types nouveaux sont apparus comme les oranges sanguines et navel dans le bassin méditerranéen, le pomelo et des tangors aux Antilles, la clémentine en Algérie...

Aujourd'hui, l'aire de culture des agrumes est comprise entre 40° de latitude nord et de latitude sud et les plus grandes régions de production (Floride, Brésil, bassin méditerranéen) se situent en zones subtropicales, hors de l'aire d'origine.

● La morphologie

Les agrumes sont de petits arbres de 4 à 12 m de hauteur, à feuillage dense et persistant (sauf le *Poncirus trifoliata*). Les branches sont parfois épineuses, plus particulièrement lorsque l'arbre est issu de semis. Les feuilles sont trifoliées (*Poncirus* et ses hybrides) ou simples (*Citrus*, *Fortunella*). Elles peuvent avoir un pétiole ailé développé comme chez le bigaradier et les pomelos. Les jeunes pousses présentent parfois des signes distinctifs : elles sont pubescentes chez les pamplemoussiers, nettement anthocyanées chez les citronniers mais plus discrètement chez les limettiers.

Les inflorescences sont des cymes feuillées plus ou moins complexes. Il existe tous les intermédiaires possibles de la fleur isolée à la pousse sur laquelle chaque feuille axile une fleur. Le bouton floral est blanc, teinté de pourpre chez les citrus acides. La fleur est généralement composée de cinq sépales et de cinq pétales. Elle possède de vingt à quarante étamines soudées à la base et un ovaire porté par un disque nectarifère.

Les agrumes présentent une croissance rythmique. Chaque vague de croissance est suivie d'un arrêt de végétation marqué, même si les conditions climatiques sont favorables au développement végétatif. Une floraison suit le ou les arrêts de végétation induits par le climat. Certains citrus sont dits remontants (limettiers, citronniers, cédratiers, combavas) : ils fleurissent à chaque reprise de croissance.

Le fruit, de taille très variable (10 g à plusieurs kg), a une structure particulière, c'est une baie constituée de trois enveloppes :

- > un épicarpe coloré ou flavédo qui contient des glandes renfermant les huiles essentielles ;
- > un mésocarpe ou albédo, constitué de tissus spongieux blancs. Il est très développé et ferme chez les cédrats ;
- > un endocarpe, paroi interne des carpelles, qui est tapissé par des poils qui se transformeront en vésicules juteuses à maturité.

Les graines, le plus souvent polyembryonnées, renferment des embryons surnuméraires formés sans fécondation à partir des tissus du nucelle. Ils possèdent le même patrimoine génétique que la plante mère. Les pamplemoussiers, les cédratiers, le clémentinier, le bergamotier, le mandarinier Temple ont des graines monoembryonnées, à embryons zygotiques, qui ne reproduisent pas toujours le type.

● La génétique

Les études récentes démontrent que le genre *Citrus* s'est structuré à partir de trois groupes de base : les pamplemoussiers, les mandariniers, et un groupe d'agrumes acides (les cédratiers auxquels sont apparentés les limettiers).

Tous les autres types : orangers, bigaradiers, citronniers, pomelos... seraient issus de recombinaisons génétiques par hybridations entre ces groupes de base puis se seraient diversifiés par mutations.

● **Le bigaradier**

Le bigaradier (*Citrus aurantium* L.) Le bigaradier commun était très utilisé comme porte-greffe des agrumes, en raison de sa parfaite compatibilité avec la plupart des variétés. Il présente une bonne adaptation à différents types de sol (légèrement acide ou calcaire) ainsi qu'une bonne résistance au phytophthora. Il forme malheureusement des associations sensibles à la tristeza avec les orangers, les mandariniers et leurs hybrides, ce qui conduit à délaissé son emploi. Son fruit n'est consommable que sous forme de confiture. Ses fleurs, comme celles des bouquetiers (bigaradier à grosses fleurs), sont utilisées en parfumerie. Les huiles essentielles de bergamote entrent dans la composition de l'eau de Cologne.

● **Les cédratiers**

Les cédratiers (*Citrus medica* L.) sont des arbustes de petite taille, très sensibles au froid. Leurs fruits (cédrats) de la forme d'un gros citron possèdent une peau très épaisse et sont pratiquement dépourvus de jus. Ils sont essentiellement utilisés en liquoristerie et en confiserie. La graine est monoembryonnée. L'arbre est multiplié par marcotte ou par greffage (délicat).

● **Les citronniers**

Les citronniers (*Citrus limon* (L.) Burrm. F.), arbres vigoureux, à feuillage vert clair et à floraison remontante. Le fruit a une chair jaune, acide, aromatique. La plante, très sensible au froid et aux excès de température, se comporte mieux sous climats de type méditerranéen ou subtropical à hiver doux. Les variétés les plus connues sont les citrons Eureka et Lisbon. Le citronnier est très sensible au mal secco (*Phoma trachei - phila*) très présent en Méditerranée orientale et au Proche Orient.

● **Les kumquats**

Les kumquats, du genre *Fortunella*, sont de petits arbustes produisant de petits fruits totalement comestibles. Ils sont très résistants au froid, mais peuvent être cultivés sous les tropiques. La variété Marumi est à fruits ronds et la variété Nagami à fruits ovales.

● **Les limettiers**

Les limettiers (*Citrus aurantifolia* Swingle) sont des arbres très souvent épineux, d'aspect buissonnant et à feuillage vert clair. Leur floraison remontante permet la production étalée de petits fruits spermés, à chair verdâtre, juteuse, acide et très aromatique. Les limettiers sont très sensibles à la tristeza, au chancre citrique et à l'anthracnose. Ils ne supportent pas le gel. La graine, très polyembryonnée, assure une reproduction fidèle par semis. Ces limes sont connues sous des appellations diverses : limes mexicaines, antillaises, Key, citron gallet... Il existe des limettiers triplôides à gros fruits (*Citrus latifolia* Tanaka) connus sous le noms de limettier de Tahiti, Bearss ou de Perse. Le fruit est asperme, quatre à cinq fois plus gros qu'une petite lime, mais son arôme est moins typé. Il est légèrement moins sensible aux maladies.

● Les mandariniers

Il s'agit d'un groupe très polymorphe au sein duquel on distingue :

- > *le mandarinier Satsuma* (*Citrus unshiu* Marcovitch), arbre à port retombant, possédant une certaine résistance au froid en partie liée à la grande précocité de maturation des fruits. Il est cultivé principalement dans la limite extrême nord de la zone de culture des agrumes (Japon, Chine, Asie centrale...). En raison de sa relative tolérance au cercospora des agrumes, il est également cultivé sous les tropiques (Afrique de l'Ouest). Les fruits aspermes et juteux s'épluchent très facilement. Ils sont peu aromatiques ;
- > *le mandarinier King* (*Citrus nobilis* Loureiro), originaire et cultivé dans le Sud-Est asiatique, nécessite des températures élevées. Ses fruits acquièrent une meilleure qualité avec un porte-greffe moyennement vigoureux dans des sols plutôt lourds ;
- > *le mandarinier méditerranéen* (*Citrus deliciosa* Tenore), arbre de vigueur moyenne à rameaux fins, fruits juteux, très spermés, de forme aplatie et de couleur jaune-orangé à maturité. La peau est non adhérente et possède un arôme très typé. La production alterne fréquemment ;
- > *les autres mandariniers* (*Citrus reticulata* Blanco) dont les types les plus connus sont Beauty et Dancy, aux fruits spermés, juteux, de coloration orange soutenue, bien adaptés aux milieux subtropicaux et tropicaux et la clémentine qui produit en plantation mono-spécifique des fruits aspermes (auto-incompatibilité), précoces, juteux et délicatement parfumés. Pour une bonne production, le clémentinier nécessite un climat doux, peu contrasté. Il est bien adapté aux zones littorales méditerranéennes, mais également aux climats insulaires tropicaux. Il existe de nombreuses autres mandarines souvent originaires de zones tropicales, comme Ponkan présente dans tout le Sud-Est asiatique et Ellendale cultivée en Australie et en Amérique latine. Les mandarines ont donné par hybridations naturelles aux Caraïbes les tangors Ortanique, Temple, Murcott bien adaptés aux climats subtropicaux et tropicaux, et par hybridations contrôlées les tangelos Minneola, Orlando, et les mandarines hybrides Fairchild, Fortune, Lee, Nova, Page..

● Les orangers

Les orangers (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck.) représentent l'espèce la plus cultivée du genre citrus. Les caractéristiques du fruit permettent de distinguer quatre groupes :

- > *les oranges blondes navel* : l'ombilic caractéristique résulte du développement d'un second fruit rudimentaire. La texture de la chair est croquante et la qualité gustative excellente. Les fruits sont aspermes. Ces variétés, généralement précoces, sont moins bien adaptées aux climats tropicaux humides ou désertiques. Les plus connues sont Navelina, Washington, Navelate. Les arbres sont moyennement vigoureux ;
- > *les oranges blondes* : les arbres sont généralement vigoureux, les fruits sont plus ou moins spermés, plus juteux que les navels. Il existe de nombreuses variétés dont certaines possèdent une grande souplesse d'adaptation comme Valencia late, Hamlin, et d'autres adaptées à une aire de culture plus spécifique comme Shamouti au Moyen Orient, la Maltaise en Tunisie, Pera au Brésil, Pineapple, Mars early pour les climats tropicaux ;

- > *les oranges sanguines* : elles acquièrent leurs caractéristiques uniquement dans les zones à saison fraîche (moyennes proches de 13°C) possédant des amplitudes importantes de température journalière, comme la Sicile, l'Afrique du Nord, le Moyen Orient... En zone tropicale, ces oranges restent blondes. Les variétés les plus connues parmi les sanguines sont Sanguinelli, Moro, Tarocco, la Double fine améliorée, et pour les demi-sanguines, la Maltaise demi-sanguine et la Shamouti Maourdi ;
- > *les oranges douces* : elles ne possèdent pas d'acidité et de ce fait sont insipides. Elles sont très peu cultivées.

● **Les pamplemoussiers**

Les pamplemoussiers (*Citrus grandis* (L.) Osbeck), arbres assez vigoureux à port dressé, fruits spermés, de très grande taille, à peau épaisse. Leur chair est jaune pâle ou colorée, rosée à rouge. Ces arbres, très communs en Asie du Sud-Est, sont peu cultivés ailleurs. La graine est monoembryonnée, mais le type se multiplie assez bien par semis. Le pamplemousse présente une résistance à la tristeza et au chancre citrique. Il existe des hybrides de pamplemousse et de pomelo comme Oroblanco et Melogold, qui n'ont pas hérité de la résistance aux maladies.

● **Les pomelos**

Les pomelos (*Citrus paradisi* Macfadyen) sont des arbres assez vigoureux, exigeants en chaleur pour donner des fruits de bonne qualité. Ils sont aussi bien adaptés aux climats tropicaux chauds et humides qu'aux régions subtropicales arides et chaudes.

Il existe des variétés à chair jaune pâle (*Marsh seedless*), et des variétés d'autant plus colorées, du rosée au rouge, que les températures sont régulièrement élevées (Thompson, Ruby, Shambar). Les mutants Star Ruby, Rio Red, et Flame, très riches en licopène, se colorent sous climat doux mais n'y acquièrent pas la douceur obtenue en climat tropical.

● **Le Poncirus**

Le *Poncirus* est un genre voisin des Citrus avec lesquels il peut s'hybrider. Le *Poncirus* et ses hybrides donnent des fruits non comestibles. Utilisé comme porte-greffe, il confère une certaine résistance au froid et constitue des associations avec les mandariniers et les orangers résistantes à la tristeza. Il exige des sols acides et tolère les sols lourds. Le *Poncirus Flying dragon* induit un nanisme du plant. Les hybrides de *Poncirus*, comme le citrange Carrizo ou le citrumelo Swingle sont plus souples d'emploi, notamment vis-à-vis du pH du sol. Ils sont plus vigoureux et forment également des associations tolérantes à la tristeza. Ils sont largement utilisés comme porte-greffe.

● **L'écologie des agrumes**

● **La température, la sécheresse et la floraison**

Les agrumes supportent des températures comprises entre 0°C et 50°C. La croissance est optimale entre 20°C et 30°C. Les périodes fraîches (températures inférieures à 13°C) ou sèches induisent un arrêt de la croissance. Cet arrêt, s'il est suffisamment marqué, est favorable à une bonne induction florale. Entre les latitudes 20° et 40° (Nord ou Sud), ces conditions induisent une floraison unique.

Sous des latitudes proches de l'équateur, il existe généralement deux saisons sèches qui sont à l'origine des deux floraisons observées.

● **Les températures et la coloration des fruits**

La coloration externe des agrumes est spécifique de la variété mais elle est dépendante des températures. Pour acquérir une coloration intense, il est nécessaire que les températures baissent nettement et qu'il y ait des écarts suffisants entre le jour et la nuit. Les oranges, les mandarines et leurs hybrides, les citrons et cédrats réagissent plus particulièrement à ces conditions. Les limes et pomelos sont moins exigeants. La coloration des fruits résulte de la disparition sous l'effet du froid des pigments chlorophylliens, qui masquent les pigments anthocyaniques et caroténoïdes. Sous les tropiques humides, les agrumes restent extérieurement verts ou verdâtres.

La coloration interne rouge des oranges sanguines est liée au développement de pigments anthocyaniques. Ceux-ci se développent bien en saison fraîche avec des alternances de température marquées. Des températures régulièrement élevées ou trop basses ne permettent pas cette coloration rouge typique. Chez les pomelos, la coloration rouge est liée au développement d'un autre pigment le licopène. Celui-ci ne se développe que si les températures sont régulièrement élevées. Ainsi sous un climat méditerranéen ou tropical d'altitude, les pomelos rosés ou rouges (sauf les variétés Star Ruby, Rio Red...) ne sont pas colorés.

● **Les températures et la saveur**

Les températures fraîches sont responsables de l'exacerbation des arômes et des saveurs. L'amertume des pomelos, l'acidité des oranges et des mandarines sont plus prononcées sous climat méditerranéen et moins développées sous climat tropical.

Ces différentes raisons ont conduit à une spécialisation des zones de production : les régions à saison fraîche comme la Méditerranée, la Californie, le Japon, l'Afrique du Sud, l'Australie, l'Argentine et l'Uruguay et les zones tropicales d'altitude produisent des fruits colorés à saveur plus marquée, destinés préférentiellement au marché du fruit frais. Ces régions sont souvent proches des grands centres de consommation. L'industrie de transformation est, en revanche, localisée principalement en zone semi-tropicale (Brésil, sud de la Floride), car l'aspect des fruits est secondaire.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

L'agrumiculture présente des aspects très variés :

- > très grandes exploitations en monoculture mécanisée, parfois semi-extensives, sur plusieurs milliers d'hectares, ayant vocation de fournir des fruits à l'industrie de transformation (cas de l'Etat de Sao Paulo au Brésil : 840 000 ha, 210 millions d'orangers dont 40 % sur des exploitations de plus de 100 000 arbres) ;
- > moyennes à grandes exploitations intensives (10 à 100 ha), irriguées et mécanisées, associées à des structures de conditionnement et d'expédition des fruits (Israël, Afrique du sud, Californie, Australie, Afrique du Nord...) ;

- > petites exploitations familiales (1 à 10 ha) organisées en coopérative pour la commercialisation ;
- > petites exploitations familiales d'une superficie inférieure à 1 ha, terrains en terrasses ou difficilement mécanisables, dans certaines zones traditionnelles du nord de la Méditerranée ou d'Asie ;
- > vergers à très haute densité, de durée de vie inférieure à dix ans, en assolement avec des rizières inondées dans le sud de la Chine ;
- > jardins de type *créole* en association avec d'autres fruitiers, production à usage domestique ou pour les marchés de proximité.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

● La prévention sanitaire

Certaines maladies, dites de quarantaine, provoquent une dégénérescence des arbres. On sait difficilement en contrôler la dissémination naturelle et l'on ne dispose d'aucun traitement curatif. Seules des mesures préventives sont envisageables. Elles sont essentiellement basées sur la qualité du matériel issu des pépinières (choix de variétés et de porte-greffe tolérants, plants sains).

Le virus de la *Tristeza* est responsable de la mort de plusieurs dizaines de millions d'arbres (Asie, Amérique, Afrique, Méditerranée). Il est transmis par les pucerons dont *Toxoptera Citricidus*. La bactérie *Xanthomonas anoxopodis* pv *citri*, responsable du chancre citrique, est présente dans toute l'Asie, l'océan Indien et le Brésil. L'inoculum se propage par voie aérienne (pluie et vent) et il pénètre par les blessures. La bactérie intracellulaire *Liberobacter* est responsable de la maladie du huanglungbin-greening qui affecte l'Asie tropicale, l'océan Indien et l'Afrique de l'Est. Elle est transmise par les psylles asiatique *Diaphorina citri* et africain *Tryoza erytrae*.

Le champignon *Phaeoramularia angolensis*, responsable de la phaeoramulariose, ex-cercosporiose des agrumes, est présent dans de très nombreux pays tropicaux africains, plus spécifiquement dans les zones d'altitude moyenne à élevée. De nombreuses maladies causées par des virus (psoroses, impiétratura, veination...) ou des viroïdes (exocortis, cachéxie...) ne peuvent être évitées que par des mesures prophylactiques (usage de semences et de greffons sains, désinfection des outils de taille et de greffage...).

● La pépinière

En pépinière, l'utilisation de marcottes est déconseillée (transmission de maladies de dégénérescence, sensibilité au phytophthora). Les variétés polyembryonnées sont rarement (sauf la lime mexicaine) multipliées par semis (plants épineux sensibles au phytophthora). En revanche, c'est la technique de multiplication employée pour propager les porte-greffes sans transmission de viroses.

Tableau 1. Critères de choix des principaux porte-greffes

Nature du porte-greffe	Big	Volk	Lim rang	Cit mac	Pon trifo	Cit carri	Cit melo	Man cléo
Caractéristiques du sol								
<i>Sableux</i>	=	+	+	+	-	-	-	=
<i>Lourd</i>	=	-	-	=	+	=	=	=
<i>Calcaire</i>	=	=	=	+	--	-	-	++
<i>Présence de chlorure</i>	=	=	+	+	--	-	-	++
<i>Sec</i>	=	+	+	+	-	-	-	=
Ravageurs et maladies du sol								
<i>Phytophthora</i>	+	-	-	+	+	+	+	-
<i>Charançon (Diaprepes sp.)</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
Maladies d'association								
<i>Blight</i>	=	-	-	-	-	=	=	=
<i>Tristeza</i>	--	+	+	-	+	+	+	+
<i>Tatter leaf</i>	+	?	+	?	-	-	-	+
<i>Exocortis</i>	+	+	--	+	--	-	-	+
Effet sur l'association								
<i>Vigueur</i>	=	++	++	++	-	=	=	-
<i>Résistance au froid</i>	=	-	-	-	+	=	=	=
<i>Qualité des oranges et mandarines</i>	+	-	-	-	++	+	+	+
<i>Qualité des citrons et limes</i>	+	+	=	=	-	-	-	+
<i>Compatibilité avec les citronniers</i>	+	+	+	+	--	--	--	+

Big = bigaradier ; Volk = *Citrus volkamériana* ; Cit mac = *Citrus macrophylla* ; Lim rang = *Lime Rang pur* ; Pon trifo = *Poncirus trifoliata* ; Cit carri = citrange carrizo ; Cit melo = citrumelo 4475 ; Man cléo = Mandarine Cléopâtre.

Les méthodes de greffage les plus courantes pour des jeunes plants sont l'écussonnage et la greffe en copeau (chip-budding), très économe en greffons. La greffe est réalisée à 30 cm de hauteur sur des plants semi-lignifiés, bien en sève, ayant un diamètre d'environ 0,8 cm. Les greffons doivent être d'origine garantie, indemnes de maladies transmissibles.

● La plantation

Les plants sont installés, six mois à un an après le greffage, sur un terrain préalablement aménagé pour éviter toute inondation temporaire (nivellement et fossés de drainage) et pour assurer une protection contre les vents dominants (brise-vent). Le travail du sol avec des outils à dents permet de casser les horizons indurés sans remanier les couches superficielles.

En l'absence de mécanisation, des fosses de 0,8 x 0,8 x 0,8 m sont ouvertes deux à trois mois avant plantation. Les amendements et fumures de fond y sont incorporés suivant les recommandations, basées si possible sur des analyses de sol. Il est préférable de planter sur butte pour maintenir une zone saine autour du collet, de tasser puis d'arroser le sol à proximité du plant, juste après la plantation.

Les densités retenues sont fonction du sol, du climat et de l'association variété/porte-greffe :

- > un porte-greffe *Poncirus Flying Dragon* autorise 800 à 1000 plants d'orangers ou de mandariniers/ha en climat tropical ;
- > un oranger ou un pomelo sur *Citrus macrophylla* ou Lime Rangpur est planté à 125 à 200 plants/ha sous les tropiques ;
- > un oranger ou mandarinier sur *Poncirus* ou Citrange est fréquemment planté à 350 à 500 plants/ha en climat méditerranéen.

● **L'entretien des jeunes plantations**

Les premières années l'entretien doit veiller au bon développement de la frondaison. La taille de formation sélectionne quatre à cinq branches charpentières, insérées à différents niveaux du tronc et régulièrement réparties sur sa circonférence.

Les apports de fumure azotée sont fractionnés (deux à quatre apports selon la pluviométrie) et épandus sous et en limite de frondaison.

La ligne de plantation est désherbée (herbicides systémiques ou de contact) et l'interligne enherbé avec une association graminée-légumineuse (sauf si l'eau est rationnée). Des cultures intercalaires sont possibles les premières années, à condition d'éviter la compétition avec les jeunes arbres et d'autoriser la réalisation des traitements. Une bande de sol d'un mètre minimum au delà de la frondaison doit rester libre. Le contrôle des maladies et ravageurs se fait suivant les principes de la lutte raisonnée, avec une attention particulière à la protection des feuilles (mineuses, pucerons, fumagine...).

En saison sèche, l'irrigation maintient le sol humide sans excès (emploi de tensiomètres), sur une profondeur de 30 à 50 cm sous la frondaison, sans accumulation d'eau à la base du tronc.

● **L'entretien du verger en production**

La taille d'entretien supprime les ramifications en surnombre à l'intérieur de la frondaison et les anciens rameaux fructifères affaiblis. La taille de formation se poursuit en conservant la structure de l'arbre et en assurant éventuellement le renouvellement des branches affaiblies.

Le désherbage de la ligne de plantation, sous la frondaison, peut se faire au moyen d'herbicides avec une sélectivité de position.

L'irrigation est pratiquée, si nécessaire, de la fin de la floraison à la maturité des fruits. Les apports sont réguliers pour éviter tout stress responsable d'éclatement et de chute de fruits. Le conseil est basé sur la nature du sol (capacité de stockage, dose d'apport maxi) et la demande climatique. Le coefficient cultural permet de connaître les besoins journaliers. Il varie en fonction du mode d'irrigation, du mode de conduite et du développement des plants.

Le besoin en eau

Il est de :

- 0,5 etp pour un verger adulte (400 arbres/ha), en sol nu irrigué en goutte à goutte ;
- 0,65 etp pour un verger adulte (400 arbres/ha), en sol nu irrigué par aspersion sous frondaison ;
- 0,75 à 0,9 etp pour un verger adulte (250 à 400 arbres/ha), sur un sol enherbé irrigué par aspersion.

La fumure doit compenser les exportations minérales par les fruits et tenir compte des pertes par lixivation et volatilisation (azote principalement). À titre d'exemple, en Floride, une tonne d'orange exporte 1,4 kg de N ; 0,5 kg de P_2O_5 ; 2,2 kg de K_2O . Les fumures azotées optimales par arbre vont de 250 g de N/an pour des orangers adultes (dix ans et plus) non irrigués au Brésil, à 500 g de N/an sous climat méditerranéen avec irrigation. La potasse est souvent apportée dans la même proportion que l'azote et le phosphore au quart de la dose. Des amendements calco-magnésiens corrigent d'éventuels déséquilibres (en fonction des analyses de sol). Les carences en oligo-éléments se corrigent le plus souvent par pulvérisations foliaires sur jeunes feuilles non mures (zinc, manganèse, molybdène, bore) ou par apports de chélate au sol (fer). Le suivi nutritionnel des vergers, basé sur les résultats des analyses minérales de sol et de feuilles, permet un conseil adapté.

● La protection des cultures

Le contrôle des maladies et ravageurs est plus complexe lorsque les arbres portent des fruits. La législation en matière de résidus de pesticides impose de respecter les recommandations et de se placer dans le cadre d'une démarche raisonnée.

● Les ravageurs

Les cochenilles sont contrôlées par des applications d'huiles blanches à 1,5 % (fort mouillage, 5 à 10 l/arbre) après la taille pour asphyxier adultes et larves. Un insecticide γ est éventuellement associé (méthidathion, chlorpyrifos-éthyl). Les cochenilles à carapace cireuse sont très difficiles à éliminer et il faut maintenir un niveau de parasitoïdes suffisant pour contrôler naturellement les populations.

Les aleurodes sont facilement contrôlés au stade larvaire par des pulvérisations d'huiles blanches. L'aleurode floconneux constitue un cas spécifique : ses larves à carapace cireuse résistent aux traitements insecticides. Le contrôle biologique de ce ravageur est possible grâce à l'introduction de son parasitoïde spécifique : *Cales noacki* Howard.

Les pucerons sont contrôlés chimiquement pour éviter les pullulations sur les nouvelles pousses végétatives (phosalone, pyrimicarbe, endosulfan). Les coccinelles contrôlent naturellement les populations faibles.

La mineuse des agrumes doit être contrôlée sur les arbres de moins de sept ans. Les insecticides sont utilisés sur jeunes feuilles à l'apparition des nouvelles pousses et avant l'apparition des symptômes : imidaclopride, diflubenzuron, malathion, associés éventuellement à 0,5 % d'huile blanche.

Les thrips provoquent la déformation des feuilles et altèrent l'épiderme des jeunes fruits.

Un comptage régulier du nombre de thrips présents sur les jeunes fruits sert au déclenchement du traitement si 4 % des fruits sont occupés.

Les mouches des fruits s'attaquent aux fruits quand ceux-ci commencent à se colorer. L'utilisation d'un système de pièges permet de suivre l'évolution de la population de mouches dans le verger. Pour une infestation moyenne (vingt cinq mouches par piège par semaine), le traitement par tache avec un attractif (hydrolisat de protéines) et un insecticide permet de ne traiter que des secteurs sans fruit. Pour une infestation massive (plus de cent vingt mouches par piège par semaine), la totalité de la frondaison est traitée (fenthion, malathion, trichlorfon).

Les acariens (tétranyques sur feuilles, phytoptes et tarsonèmes sur fruits) nécessitent une réaction très rapide en raison de la rapidité de la pullulation : amitraze, cyhexatin...

● **Les maladies**

Le phytophthora sur tronc (écoulement de gomme), charpentières et racines, détecté à temps, se traite avec un fongicide systémique (phoséthyl d'aluminium) en pulvérisation foliaire pendant la période de croissance active. Le traitement bloque l'évolution de l'attaque. Le respect des recommandations (plantation sur butte, plant greffé à 30 cm, collet protégé de l'eau, insertion des branches à différents niveaux) permet fréquemment d'éviter les infestations.

Les champignons sur fruits (*penicillium*, *phytophthora*...) se développent sur fruits matures, au champ, dans les situations chaudes et humides. Uniquement dans ces cas, des traitements préventifs (benomyl, cuivre + manèbe + zinèbe...) peuvent en limiter l'apparition avant récolte et le développement après récolte.

Le chancre citrique (*xanthomonas ananopodis* pv *citri*) est freiné dans son expression par les pulvérisations cupriques. Son élimination par destruction des foyers est pratiquement impossible dès que la contamination a atteint un certain seuil.

Le scab (*Elsinoe fawcetti*), en conditions très humides, développe des pustules sur rameaux et feuilles et des verrues liégeuses sur fruits. Les applications préventives de fongicides cupriques, de méthyl thiophanate ou de benomyl permettent un bon contrôle du champignon.

● **La récolte**

Les fruits sont récoltés avec une teneur en jus optimale de 45 % ou plus pour les oranges, limes et mandarines, de 40 % ou plus pour les pomelo et 35 % ou plus pour les citrons. Le rapport teneur en extrait sec soluble (degré Brix) sur l'acidité devra être égal ou supérieur à 7 pour les oranges et les mandarines. Les fruits sont récoltés secs avec l'attache pédonculaire et entreposés à l'ombre, au frais, dans des caisses propres, avant acheminement vers les stations de conditionnement ou les marchés. L'opération de cueillette ne doit pas blesser le fruit ni permettre son contact avec le sol.

● **La production actuelle et les perspectives**

● **Les pays et zones de production**

En 1999, la production d'agrumes a dépassé 90 millions de tonnes dont 62 % d'oranges, 17 % de mandarines et hybrides, 10 % de citrons et limes, 5 % de pomelos

et pamplemousses et 6 % d'agrumes divers. L'industrie de transformation absorbe majoritairement des oranges (le tiers de leur production).

Près de 49 % de la production mondiale se situe en Amérique. Deux géants, le Brésil (22 %) et les Etats-Unis (13 %), sont fortement impliqués dans la transformation. L'Asie (Moyen et Extrême Orient) se situe en seconde position avec plus de 24 % de la production. La Chine (10 %) connaît une progression très rapide des surfaces plantées. Le bassin méditerranéen (19 %) est une zone de production ancienne, avec une forte diversité variétale. Il produit principalement des fruits frais exportés vers l'Europe. L'Afrique tropicale ne contribue à la production mondiale qu'à hauteur de 5 % et l'Océanie pour moins de 1 %.

Dans les pays développés, le marché des fruits frais stagne. Il a fait l'objet d'un rééquilibrage en faveur des petits fruits (clémentines, mandarines et hybrides) au détriment des oranges, avec étalement de la période de l'offre grâce à la diversité variétale. La consommation de jus d'orange a évolué rapidement pour arriver à un palier. Les Etats-Unis ont reconquis leur marché intérieur, le Brésil se redéploie vers l'Europe. La Chine se lance à la conquête de son immense marché intérieur. Les pays en développement cherchent également à satisfaire les besoins croissants de leur propre marché.

● La recherche

Le thème majeur abordé par la recherche est l'amélioration génétique pour obtenir une meilleure résistance aux contraintes biotiques et abiotiques. La maîtrise de la fusion somatique autorise des recombinaisons génétiques précédemment impossibles avec les techniques traditionnelles d'hybridation. Les études d'épidémiologie et de dynamique des populations des ravageurs sont à la base de la définition de nouvelles approches de lutte plus respectueuses de l'environnement. Les études sur le milieu, la physiologie et l'amélioration des plantes, la défense des cultures se rejoignent pour la mise au point de nouveaux itinéraires techniques dans le cadre des systèmes de production intégrés. Il s'agit du défi à relever dans les prochaines décennies pour produire, autant et à moindre coût, des produits de qualité.

L'ANACARDIER

Anacardium occidentale L.

Anglais : cashew

Espagnol : marañón, cajuil, anacardo

Portugais : cajueiro

Famille des Anacardiaceae

● Les buts de la culture et ses utilisations

Outre son intérêt sur le plan forestier, l'anacardier est cultivé essentiellement pour son fruit, la noix de cajou, dont l'amande est utilisée de multiples manières : elle entre dans la composition de nombreuses confiseries ou pâtisseries et sert à préparer du beurre d'anacarde ; grillée et salée, elle peut être consommée seule ou en mélange avec d'autres noix ou fruits secs.

Le baume de cajou (*cashew nut shell liquid* ou CNSL) est un produit acide, très corrosif, qui est extrait de la coque par chauffage pour éviter qu'il ne pollue l'amande lors du décorticage. Dans les régions qui traitent de grandes quantités de noix, le CNSL est abondant et peut être utilisé dans l'industrie notamment dans la fabrication des éléments de friction (freins, embrayages) ou des isolants. Ailleurs, c'est un produit polluant et embarrassant.

En outre, le fruit de l'anacardier est surmonté d'un faux fruit, appelé pomme-cajou. Il est très juteux, sucré, légèrement parfumé et acide et très riche en vitamine C. La pomme peut être consommée en l'état, comme fruit frais, ou après transformation en jus de fruit ou boisson alcoolisée.

● La plante et son environnement

● La plante

L'anacardier est un arbre à racine pivotante, originaire du Brésil. Les panicules floraux portent deux types de fleurs : les unes sont mâles et les autres hermaphrodites. Toutes sont composées de cinq sépales, cinq pétales, une grande étamine et six à quatorze staminodes (en général huit ou neuf), un ovaire simple, atrophié chez les fleurs staminées.

Après fécondation, le vrai fruit ou noix de cajou se développe en premier lieu. Lorsqu'il a atteint son volume maximum, au bout de trente à trente-cinq jours, le pédoncule, qui jusque-là était normal, se développe considérablement et très rapidement. Il devient la pomme cajou, tandis que la noix perd de l'humidité, diminue de volume et durcit.

La durée du cycle végétatif est de vingt à trente ans. La phase de floraison commence vers l'âge de deux ou trois ans. La pleine floraison se situe vers la septième année. Les arbres âgés ont une faible productivité mais ils peuvent être régénérés par recépage.

● L'écologie de l'anacardier

L'anacardier peut vivre dans des zones présentant des conditions climatiques et pédologiques très variées. Néanmoins, les principales régions de production sont situées entre les parallèles 15° Nord et 15° Sud. Elles ont des pluviométries annuelles comprises entre 500 et 1 500 mm, avec une saison sèche bien marquée d'au moins quatre mois. Il est bon que la récolte ait lieu en saison sèche. Une température moyenne de 25 à 27°C est favorable en période de floraison. L'altitude est variable, généralement proche du niveau de la mer en Afrique de l'Ouest, à Madagascar ou au Kenya, et inférieure à 500 m au Mozambique. S'il se contente de sols pauvres, l'anacardier se développe mieux sur les sol sablonneux ou sablo-argileux bien drainants. Toutefois, s'il est planté sur de grandes épaisseurs de sables grossiers, il ne peut atteindre les réserves en eau du sol en saison sèche et il dépérit.

● La culture

● Les grands systèmes de culture

Il existe une grande diversité de vergers :

- > *les vergers les plus extensifs* sont composés d'arbres de semis. Les producteurs se contentent d'effectuer l'entretien minimum permettant de maintenir les arbres en vie, notamment en les protégeant contre le feu ;
- > *dans d'autres vergers extensifs*, les arbres de semis sont alignés. Durant les premières années, des cultures intercalaires sont pratiquées entre les lignes. Le verger est clôturé pour le protéger des dégâts d'animaux. Dans certaines zones, les anacardiens reçoivent de l'engrais et des traitements phytosanitaires (oïdium, punaises...) ;
- > *des vergers plus intensifs* sont plantés avec des arbres greffés avec des variétés classiques. Les arbres reçoivent les soins nécessaires à un développement satisfaisant de la plante : protection phytosanitaire, engrais et, parfois, irrigation ;
- > *des vergers très intensifs* sont composés d'arbres greffés avec des sélections récentes à haut rendement. Les arbres, de taille modeste, permettent des plantations à haute densité. Ils bénéficient des soins nécessaires. Certains de ces vergers sont irrigués.

L'utilisation d'arbres greffés est courante en Inde. Au Brésil, des plantations récentes sont établies à partir de variétés à hauts rendements qui sont également au stade de pré-développement en Inde. Mais l'essentiel de la production mondiale provient de vergers d'arbres de semis.

● Les itinéraires techniques et les rendements

Les rendements moyens en noix sont variables suivant les pays : 400 à 600 kg/ha en Inde ou en Afrique de l'Est, 200 à 300 kg/ha au Brésil, 200 à 400 kg/ha en Afrique de l'Ouest. Les nouvelles sélections brésiliennes ou indiennes permettraient d'obtenir des rendements de 1 000 à 1 500 kg/ha sans irrigation et de 4 000 à 5 000 kg/ha en irrigué, tout au moins dans les zones pour lesquelles elles ont été sélectionnées.

Compte tenu de la faiblesse des rendements en culture traditionnelle, le revenu moyen à l'hectare est très modeste, ce qui oblige les producteurs à limiter l'utilisation d'intrants au strict minimum. Seules les variétés greffées à haut potentiel de production pourraient rentabiliser des investissements importants ou l'emploi de quantités d'intrants élevées. La faiblesse des revenus en culture traditionnelle conditionne toutes les opérations culturales.

● **La mise en place d'un verger**

Dans les vergers de semis, deux techniques de semis sont utilisées :

- > dans le cas des semis en place, on commence par creuser le trou de plantation et on le rebouche en faisant une légère butte qui disparaîtra quand la terre du trou va se tasser. On choisit des graines denses et on en sème trois dans chaque trou, l'attache pédonculaire dirigée vers le haut. Ultérieurement, on sélectionne les plus beaux plants ;
- > on peut également effectuer une pré-germination dans des sachets en polyéthylène remplis avec du terreau et de la terre sablonneuse. Le semis est effectué un ou deux mois avant le début de la pleine saison des pluies, période au cours de laquelle les plants seront mis à leur place définitive, avec leur motte. Cette technique a l'avantage d'allonger la période favorable à la croissance et permet l'installation du système racinaire en profondeur avant l'entrée en saison sèche.

Les densités définitives de plantation varient entre cent et deux cents plants à l'hectare, en fonction du développement des arbres dans la zone considérée. Quand l'altitude ou la latitude augmente, le format des arbres adultes se réduit et il permet des densités plus élevées.

Des techniques de plantation à 5 m x 5 m, avec des éclaircies successives faisant passer les arbres à 7 m x 7 m puis à 10 m x 10 m, ont parfois été préconisées. Cette méthode se révèle intéressante si les éclaircies sont faites aux moments voulus. À défaut, les couronnes des arbres s'interpénètrent et les rendements chutent considérablement.

Dans les vergers de plants greffés, les semis sont réalisés dans des sachets en polyéthylène. Les plus récentes publications indiquent que le greffage donne de meilleurs résultats lorsqu'il est réalisé en période pluvieuse, sur des plants âgés de deux mois, avec des greffons bien boisés. Plusieurs méthodes sont utilisables : écussons boisés, greffage en tête, placage de côté.

Les plants greffés sont plantés à plus haute densité que les plants de semis, surtout si la variété greffée a une frondaison réduite. On peut alors atteindre des densités de plantation de l'ordre de cinq cents arbres à l'hectare.

● **La fertilisation**

À Madagascar, Lefèbre a mis en évidence une très profitable interaction de la fumure N-P. Un apport par arbre de 20 g de N, 40 g d'acide phosphorique et 35 g de potasse en première année est nécessaire et suffisant. On augmente progressivement les doses au cours des années suivantes.

Tableau 2. Fumure recommandée (en grammes d'élément nutritif par arbre) au Brésil

Âge	Variétés productives précoces			Variétés communes		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 année	60	120	60	40	120	60
2 année	80	60	60	60	60	40
3 année	120	90	90	80	70	70
4 année	140	100	120	100	80	80
5 année	140	100	120	120	90	90
8 année	140	100	120	140	100	120

Ces données ont inspiré les recommandations faites aux producteurs de plusieurs pays africains.

● **L'entretien et le travail du sol**

Comme la plupart des arbres fruitiers, l'anacardier émet la plus grande partie de ses racines dans les 60 cm supérieurs du sol. En conséquence, il est bon de favoriser la croissance des racines absorbantes dans cet horizon superficiel en pratiquant le sous-solage lorsqu'on dispose des moyens mécaniques nécessaires ou en creusant des trous de plantation suffisamment larges et profonds. En revanche, on évite ensuite des labours profonds susceptibles de sectionner les racines superficielles.

Dans de nombreuses zones, le feu est le principal ennemi des anacardiens. On doit éviter l'accumulation de matières végétales à la surface du sol au début de la saison sèche. Dans les jeunes vergers, une technique économique consiste à pratiquer des cultures intercalaires en saison pluvieuse. Dans les vergers adultes, on se contente de légères façons culturales en saison des pluies et d'un binage à l'entrée de la période sèche. Les plantes de couverture améliorantes ne sont utilisables que lorsque le risque de feu peut être maîtrisé.

● **Les maladies et les ennemis**

Dans de nombreuses régions, les mammifères sont de dangereux ennemis des anacardiens : rats, singes, phacochères et animaux domestiques, en particulier les bœufs qui piétinent les jeunes plants et consomment les *faux fruits* des arbres adultes en avalant ainsi les noix. La clôture des vergers permet de limiter ces dégâts.

Les principaux insectes nuisibles sont les thrips et surtout les punaises du genre *Helopeltis sp.* qui piquent les jeunes rameaux et les fruits. Dans certaines zones, les borers provoquent de gros dégâts aux plantations. Les maladies fongiques les plus nocives sont l'antracnose et surtout l'oïdium, qui sévit dans les zones d'altitude ou de latitude élevée. On peut lutter contre cette dernière à l'aide de soufre, ce qui entraîne des conséquences néfastes sur l'environnement ou avec des fongicides de synthèse, en particulier le pyrazophos.

● **La récolte**

Les fruits ne doivent pas être cueillis mais ramassés sur le sol quand ils sont mûrs et se détachent de l'arbre spontanément. On sépare la noix du *faux fruit* par torsion. Les noix ne doivent pas séjourner longtemps sur la terre humide avant d'être ramassées. On les fait ensuite sécher dans un lieu bien aéré.

Il ne faut pas les stocker dans des sacs en matière plastique, surtout si elles ne sont pas très sèches. En revanche, si l'on souhaite utiliser les pommes, il faut les cueillir sur l'arbre et les traiter rapidement avant qu'elles ne fermentent.

La qualité des noix est liée à un faible taux de défauts, à la taille de l'amande (les plus recherchées pèsent environ deux grammes) et à un bon rendement au décortiquage (poids d'amandes blanches entières par kilogramme de noix brutes).

● **La production actuelle et les perspectives**

● **La production de noix brutes**

Le leader mondial est l'Inde avec une production annuelle comprise entre 220 000 et 320 000 t de noix brutes. Le Brésil vient en deuxième position avec une production comprise entre 180 000 et 200 000 t/an. Celle du Vietnam oscille entre 110 000 et 150 000 t/an.

L'Afrique de l'Est, qui était premier producteur mondial dans les années soixante, a connu une très forte chute avant de revenir au premier plan : 100 000 à 120 000 t pour la Tanzanie, 50 000 t pour le Mozambique, 12 000 t pour le Kenya.

En Afrique de l'Ouest, la Côte d'Ivoire a connu la plus forte croissance puisque ses exportations sont passées de 13 000 t au début de la décennie à 75 000 t en 1999. La Guinée Bissau exporte entre 25 000 et 35 000 t/an, tandis que le Bénin et le Nigéria se situent aux environs de 10 000 t chacun. Les exportations de l'ensemble des autres pays ouest-africains sont estimées à 150 000 t/an.

● **La capacité de traitement des noix**

La capacité de traitement de l'Inde est estimée à plus de 550 000 t, soit 250 000 t de plus que sa production annuelle moyenne. Le Brésil et le Vietnam traitent leur production nationale. Inversement, les pays africains ne décortiquent qu'une infime partie de leur production qui est exportée, sous forme de noix brutes, en Asie, principalement en Inde.

L'ANANAS

Ananas comosus

Anglais : pineapple

Espagnol : piña

Portugais : abacaxi

Famille des Bromeliaceae

● **Les utilisations de l'ananas**

L'ananas est essentiellement cultivé pour son fruit consommé au naturel ou mis en conserve (tranches, morceaux, jus). Les feuilles peuvent être utilisées pour leurs fibres et dans l'alimentation du bétail. La plante entière peut être réduite en farine pour le bétail. On en extrait de l'amidon et de la broméline, mélange d'enzymes utilisé par l'industrie pharmaceutique.

● La plante et son environnement

● La plante

Le genre *Ananas*, originaire d'Amérique du Sud, comprend plusieurs espèces : *A. ananassoides*, *A. bracteatus*, *A. erectifolius*, *A. lucidus*, *A. nanus*, *A. paraguayensis*, *A. comosus*. De cette dernière sont issues toutes les variétés cultivées : Cayenne, Queen, Spanish, Perola ou Pernambuco, Perolera ou Mordilona.

Tableau 3. Groupes de variétés courantes

Groupes	Feuilles	Fruits	Couronnes	Rejets	Maladies	Usage
Cayenne	Quelques épines à l'extrémité, vert foncé, taille moyenne	1,5 à 2,5 kg, cylindrique, orangé, chair jaune pâle, sucre et acidité élevés	unique grande	peu de bulbilles, peu de cayeux	sensible	export en frais et transformation
Singapore Spanish	Longues, très à peu épineuses, vert foncé	1 à 1,5 kg, cylindrique, rouge orangé, chair jaune vif, sucre et acidité faibles	souvent multiples	assez nombreux	plus résistant que Cayenne	transformation
Queen	Courtes, épineuses,	0,5 à 1,2 kg, jaune, chair dorée, sucre élevé, acidité faible, arôme agréable	peu développée	assez nombreux	moins sensible que Cayenne	export en frais
Red Spanish	Longues épineuses	1,2 à 2 kg, cylindrique, chair blanche, sucrée peu acide	souvent multiples	nombreuses bulbilles	peu sensible	export en frais
Perola ou Abacaxi	Longues épineuses	0,9 à 1,5 kg, conique, vert à jaune pâle, très sucré, peu acide, arôme agréable	souvent multiples	nombreuses bulbilles	peu sensible au wilt	marché local
Perolera ou Mordilona	Feuille inerme à liseré argenté	1,5 à 3 kg, cylindrique, jaune à orange, chair pâle, ferme, sucre moyen	souvent multiples	nombreuses bulbilles	peu sensible résistant au Fusarium	local et export

L'ananas est une plante herbacée pérenne à enracinement superficiel. La tige, à entre noeuds très courts, porte des feuilles épaisses en forme de gouttières, groupées en rosette, d'où émerge l'inflorescence portée par un pédoncule. Les racines sont très fragiles et très sensibles à l'asphyxie.

L'ananas est autostérile et se multiplie par voie végétative. Des graines sont obtenues par hybridations artificielles entre variétés. Le fruit est formé par le développement parthénocarpique de l'ovaire, de la bractée et des sépales de chacune des nombreuses fleurs portées par un axe constituant le cœur. Au-dessus du fruit le bourgeon terminal se développe en couronne. La multiplication végétative est assurée par des rejets : cayeux à la base de la tige, hapas à la jonction de la tige et du pédoncule et bulbilles sur celui-ci.

● L'écologie de l'ananas

La température est le principal facteur qui agit sur le développement de l'ananas. L'idéal est une température moyenne de 25°C avec des amplitudes journalières de 12°C. Si la température est trop basse, le développement de la plante est faible, la chair du fruit brunit et présente un goût amer (affection constatée aussi à certaines époques de l'année sur les fruits stockés au froid). Si la température est trop élevée (supérieure à 35° C), les fruits deviennent fragiles et translucides (ils sont dits *jaunes*).

L'ananas est peu exigeant en eau. Les besoins théoriques sont de 3 à 4 mm/jour, soit 1 200 à 1 500 mm bien répartis au long de l'année. L'ananas peut s'adapter à des conditions sèches en adoptant, moyennant une réduction de croissance, un métabolisme carboné de type crassulacéen.

L'éclairement a une action sur les rendements, la coloration de la peau et les caractéristiques organoleptiques de la chair. Mille cent heures d'insolation sont considérées comme un minimum. L'ananas est une plante fleurissant préférentiellement en conditions de jours courts. Son cycle est d'autant plus long que les températures moyennes sont basses. En culture, la différenciation florale est le plus souvent contrôlée par des substances florigènes appliquées par le cultivateur.

À partir d'un rejet qu'on laisse se développer sur une plante déjà récoltée on peut obtenir un deuxième fruit sans replantation. L'ananas exige des terres meubles, légères, bien aérées et perméables à réaction acide (pH optimum 5,5). Il est sensible aux carences en azote et en potasse, secondairement en magnésium et en phosphore.

● La culture

● Les systèmes de culture

La variété la plus cultivée, à la fois pour l'exportation en frais et la transformation, est le Cayenne Lisse. Au Brésil, la consommation interne, très importante, est assurée par des cultivars du type Perola. Il y a une tendance très marquée à la diversification variétale : Queen, nouveaux hybrides... L'ananas est cultivé par des types d'exploitations très divers : petites exploitations individuelles, coopératives, grandes exploitations liées aux grands opérateurs et, en particulier, aux usiniers.

● L'itinéraire technique

● La mise en place

Tous les types de rejets peuvent être plantés. Ils doivent être triés pour avoir un poids homogène. Les rejets les plus utilisés sont les cayeux de 350 à 500 g. Lorsqu'elles sont disponibles les couronnes constituent un matériel de plantation homogène. Le parage des rejets (élimination des petites feuilles de la base) doit se faire juste avant la plantation. Il n'est pratiqué habituellement qu'en saison sèche. Il est conseillé de traiter les rejets en les trempant verticalement dans une solution insecticide (cochenilles) et fongicide en cas de risque de pourritures à *Phytophthora*.

En culture motorisée, la préparation du terrain comprend l'installation du réseau routier (transports, traitements) puis un labour de 35 à 45 cm, éventuellement un drainage à 60 cm et un sous-solage de 60-80 cm de profondeur.

Des traitements contre les nématodes, les fourmis et les symphyles sont souvent nécessaires. La fumure de fond est à base de N, K et P, et éventuellement de Mg.

La plantation se fait en rangées de deux à trois lignes, espacées de 90 cm. Les deux lignes sont espacées de 30 à 40 cm et les plants sur la ligne de 20 à 30 cm. Ces combinaisons correspondent à des densités de 44 000 à 77 000 plants/ha. Les densités les plus faibles sont réservées pour les plantations *usine*. Une couverture du sol par film de polyéthylène noir de 3 à 4/100^{ème} de mm débordant de chaque côté des lignes jumelées facilite la lutte contre les adventices, économise l'eau et limite la lixiviation.

● L'entretien et la fumure

La lutte contre les adventices (*Imperata cylindrica*, *Cynodon dactylon*, *Panicum repens*, *Agropyrum repens*, *Digitaria sp*) se fait à la préparation du terrain (herbicides totaux : aminotriazole, paraquat, glyphosate, dalapon, bromacile), à la plantation et en culture (herbicides de pré-levée : diuron, amétryne, bromacile). Certains de ces produits peuvent être interdits localement.

Tableau 4. Seuils de calcul des fumures en fonction des analyses foliaires et de l'analyse du sol

	Analyse foliaire	Analyse du sol
N	> 1,2 % de la matière sèche	
K	> 3 % de la matière sèche	K > 0,50 meq /100 g de terre
Mg	> 0,18 % de la matière sèche	Mg > 0,50 meq/100 g
P	> 0,10 % de la matière sèche	P ₂ O ₅ > 0,02 %

On pratique couramment des fumures très élevées, jusqu'aux doses suivantes par pied :

- > N : 4 à 14 g ;
- > K₂O : 10 à 20 g ;
- > P₂O₅ : 5 g ;
- > MgO : 5 g.

Les apports sont réalisés partiellement avant plantation sous polyéthylène et en cours de végétation. Ils sont d'autant plus efficaces qu'ils sont fractionnés. La meilleure technique d'application est la pulvérisation sur le feuillage d'engrais solubles, dilués pour éviter tout risque de brûlure. Si les produits ne sont pas incompatibles, on peut rajouter aux engrais des insecticides mélangés au dernier moment.

Les produits pouvant être pulvérisés sont :

- > l'urée (46 % de N) : concentration maximale en pulvérisation 3 à 5 % ;
- > le nitrate de potassium (13 % de N + 44 % de K₂O) ;
- > le nitrate d'ammoniaque (35 % de N) ;
- > le phosphate d'ammoniaque (20 % de N + 45 % de P₂O₅) ;
- > le sulfate de potassium (50 % de K₂O) ;
- > éventuellement le chlorure de potassium (60 % de K₂O) ;
- > le sulfate de magnésium (14 à 16 % de MgO).

L'application des engrais peut également être réalisée sous forme solide, à l'aisselle des feuilles de la base à l'aide d'une cuillère. L'efficacité de tels apports est liée à la pluviométrie. Les engrais binaires et ternaires commercialisés habituellement ne sont pas bien adaptés à l'ananas, sauf ceux spécifiquement mis au point comme le mélange 8-4-20-4. Le potassium joue un rôle majeur pour la qualité des fruits (teneur en sucres et acidité).

● **Le contrôle de la floraison**

Le contrôle de la floraison permet d'obtenir des fruits de poids désiré (le poids du fruit croît avec le développement de la plante au moment de sa floraison), à l'époque de l'année souhaitée (adaptation de la production à la demande) et, en groupant la production d'une même parcelle, diminue les frais de récolte.

Les produits employés peuvent être :

- > *l'acétylène*, par application au cœur de la rosette d'une petite pincée de poudre de carbure de calcium, imbibée de gas-oil pour freiner la libération de l'acétylène et limiter l'échauffement. Il est préférable cependant d'appliquer, au cœur de la rosette, 50 à 100 ml d'une solution obtenue en mélangeant 200 à 240 g de carbure avec 75 l d'eau la plus fraîche possible (gaz plus soluble à basse température) dans un récipient de 100 litres. Aucun des récipients utilisés ne doit contenir de cuivre (danger d'explosion). L'application se fait de préférence de nuit en faisant attention aux risques d'explosion (flammes, cigarettes à proscrire) ;
- > *l'éthylène*, par pulvérisation d'une solution contenant un adsorbant (charbon actif pulvérulent) et saturée de gaz ;
- > *l'éthephon*, produit qui libère de l'éthylène, surtout si de l'urée est rajoutée à la solution. Ce produit est moins efficace que les précédents en conditions peu favorables à la floraison (température élevée, forte croissance).

Pour une variété donnée l'intervalle traitement de floraison-récolte est fonction de la température et de l'ensoleillement. Pour Cayenne Lisse, il est généralement compris entre cinq et six mois.

● **La défense des cultures**

Maladies physiologiques : on peut constater différentes carences (en N, K, Mg ou Ca) ainsi que certaines affections de la chair du fruit dues à des températures trop basses (brunissement interne) ou trop élevées (fruits dits *jaunes*).

Tableau 5. Ennemis et maladies de l'ananas. Traitements

Agents	Symptômes	Traitements
Cochenilles (maladie du wilt)	Rouissement et flétrissement des feuilles	Désinfection des rejets et pulvérisation (Parathion 0,25 % - Malathion 0,2 % - Diméthoate 0,5 % - Disulfotol 0,5 g/plt)
Nématodes	Croissance lente	Application à la plantation et en cours de végétation de Phenamiphos, Carbosulfan, Cadusafos, Ethoprophos
Symphyles	Extrémité des racines détruite	Ethoprophos - Cadusafos - Fonafos - Chlorpyrifos-ethyl
Lépidoptères du fruit	Galerics à l'intérieur du fruit	Carbamati
Phytophthora (heart rot et root rot)	Pourriture du cœur et des racines pouvant entraîner la destruction de la plante	Drainage - désinfection des plants - application en cours de végétation de Manèbe, Phosetyl-al, Métalaxil
Ceratocystis paradoxa (base rot ou butt rot)	Pourriture brune des yeux	Imazalil - Triadimefon
Fusarium moniliforme (fruitlet, core rot)	Pourriture brune des yeux	Aucun traitement
Maladies bactériennes : marbling disease, yeasty rot	Brunissement sec des yeux, pourriture des fruits sur pied	Variété résistante : Queen; la lutte chimique est trop onéreuse

Attention au respect de la réglementation : certains de ces produits peuvent être interdits localement pour la culture de l'ananas

● Les temps de travaux

Tableau 6. Temps de travaux en culture essentiellement manuelle, pour exportation en frais, en jours de travail/ha

Préparation sol	3
Préparation matériel végétal	60 à 115
Plantation	30
Fumure	10 à 20
Traitements	10 à 20
Désherbages	40 à 80
Réduction des couronnes	30
Protection coups de soleil	35
Récolte emballage	135

Pour la production *usine*, il faut, en culture hautement mécanisée, moins de 170 journées/ha.

● La récolte et les opérations post-récolte

Pour l'industrie, les fruits les plus appréciés sont ceux de 1,8 à 2 kg, pour l'exportation en frais ceux de 1,3 à 1,5 kg. Pour ces derniers il est souhaitable de réduire artificiellement la couronne.

La détermination du point de coupe, surtout importante pour l'exportation en frais, est basée sur la coloration de la peau :

- > *fruits tournants* : début de coloration jaune à la base du fruit ;
- > *fruits demi-mûrs* : coloration à mi-hauteur ;
- > *fruits mûrs* : coloration dépassant la mi-hauteur.

Les rendements moyens, en première récolte, sont de l'ordre de 65 à 85 t/ha en dix-huit à vingt-quatre mois pour la conserverie et de 50 t à 65 t/ha en douze à dix-huit mois pour le frais. La deuxième récolte, quand elle se pratique, représente 40 à 100 % de la première.

● La spécificité des fruits commercialisés frais

L'exploitation pour les marchés locaux doit s'appuyer sur une chaîne efficace et rapide de distribution. L'exportation est à la portée de planteurs indépendants, à condition de disposer d'une chaîne de froid et de points d'embarquement identiques à ceux de la banane. Les fruits sont protégés contre les coups de soleil, avant la maturité, en regroupant les feuilles pour leur faire ombrage.

Le conditionnement comprend les opérations suivantes : tri (élimination des fruits défectueux), classement (par homogénéité de poids et de degré de maturité), nettoyage (pour une bonne présentation des fruits), brossage (élimination des cochenilles), traitement fongicide (lutte contre la pourriture noire) et emballage dans des cartons spéciaux. La température optimale de transport est de 7 à 8°C pour la variété Cayenne Lisse. L'expédition avec mise au froid doit se faire dans un délai maximum de deux jours après la récolte.

● La spécificité des fruits transformés

L'exploitation de l'ananas de conserverie suppose des surfaces de culture importantes à proximité de l'usine de transformation. De 30 à 60 % du fruit frais sont utilisés pour la fabrication de tranches ou de morceaux de tranches, le reste se répartissant, à part égale, entre jus et déchets. La demande de jus augmente au détriment de celle de tranches.

● La production actuelle

Tableau 7. Evolution de la production mondiale d'ananas de 1980 à 2000 (milliers de tonnes)

	1980	1990	2000
Monde	10 836	11 298	13 707
Afrique	1 693	1 942	2 229
Amérique centrale	752	813	1 249
Amérique du Sud	1 008	1 710	2 440
Asie	6 542	5 960	7 138

C'est sur le continent américain que la production a le plus fortement progressé entre 1980 et 2000. Les principaux pays producteurs en 2000 sont la Thaïlande (2287000t), les Philippines (1 524 000 t), la Chine (1 328 000 t), le Brésil (1 293 000 t) et l'Inde (1 006 000 t).

L'AVOCATIER

Persea americana Miller et *Persea nubigena* L. Williams

Anglais : avocado

Espagnol : aguacate

Portugais : abacate

Famille des Lauraceae

● Les utilisations de l'avocat

L'avocatier est cultivé pour ses fruits qui servent à la consommation humaine ou qui donnent une huile utilisée principalement pour la fabrication des cosmétiques, mais aussi en pharmacologie. L'avocat a une valeur nutritive très élevée, par suite de sa haute teneur en matière grasse, qui peut atteindre 30 %. Cependant, il est très facile à digérer.

● La plante

● La classification botanique

Persea americana Miller (synonyme *P. gratissima* Gaertn) est subdivisé en deux sous-espèces : *P. americana* Miller var. *americana*, qui serait le type originel de la race antillaise (West Indian Avocado), et *P. americana* Miller var. *drymifolia* (Schlecht et Cham.), qui serait le type originel de la race mexicaine (Mexican Avocado). Ces deux *Persea* ont leur habitat naturel entre 1700 et 2000 m dans les Chiapas du Mexique et du Guatemala et en Equateur.

Persea nubigena L. Williams est également subdivisé en deux sous-espèces : *P. nubigena* L. Williams var. *nubigena*, qui est le type spontané de la race guatémaltèque découvert par Popenoe dans les Chiapas du Mexique, et *P. nubigena* L. Williams var. *guatemalensis* qui est le type sélectionné de la race guatémaltèque.

● La biologie florale et la pollinisation

La fleur de l'avocatier, bien qu'hermaphrodite, présente des caractéristiques très nettes de dichogamie : les organes mâles et femelles d'une même fleur ne sont pas fonctionnels simultanément.

Chaque jour, deux séries de fleurs s'ouvrent sur un même arbre. Une première série s'ouvre le matin sans donner de pollen ; elle est au stade femelle. Vers midi, ces fleurs se referment et s'ouvrent une deuxième fois l'après-midi du jour suivant ; elles émettent alors du pollen mais ne sont plus fécondables : elles sont donc mâles. Le soir, elles se ferment définitivement.

Cette première série, constituant un cycle de dianthèse, est représentative du comportement de nombreuses variétés qui constituent le groupe A. Inversement, Stout (1933) a appelé groupe B les variétés dont les fleurs s'ouvrent la première fois l'après-midi en étant fonctionnellement femelles et la deuxième fois le lendemain matin (deuxième anthèse) en étant fonctionnellement mâles. Chaque arbre est donc mâle une partie de la journée et femelle une autre partie de la journée.

Théoriquement, d'après ces principes de biologie florale, un arbre isolé ou une plantation monoclonale ne peuvent être fécondés et donc fructifier, ce qui impliquerait nécessairement, au niveau d'un verger, de prévoir au minimum deux variétés de groupes complémentaires ayant leur floraison à la même période.

● Les races et les variétés d'avocatsiers

Il existe trois grandes races d'avocatsiers : la race mexicaine (*Persea americana* Miller var. *drymifolia*), la race guatémaltèque (*Persea nubigena* L. Williams var. *guatemalensis*) et la race antillaise (*Persea americana* Miller var. *americana*). Les variétés cultivées sont parfois des hybrides entre les races suivantes :

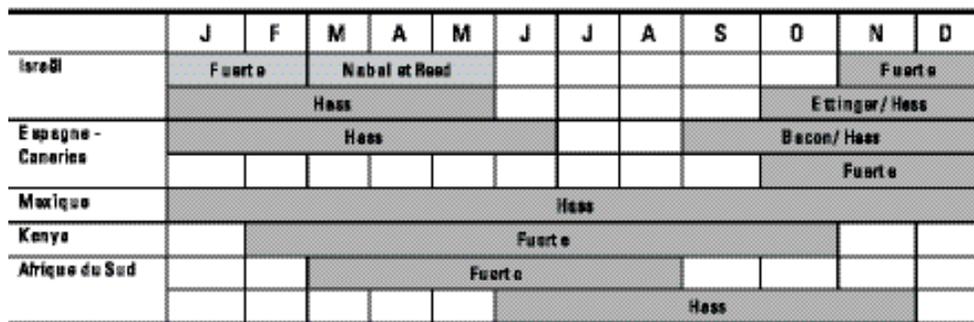
- > *hybrides guatémaltèque x mexicain* : une vingtaine d'hybrides cultivés, dont Bacon, Ettinger, Fuerte, Lula, Nowels, Regina, Rincon, Ryan, Whitsell ;
- > *hybrides guatémaltèque x antillais* : une trentaine d'hybrides, originaires majoritairement de Floride, dont Booth 7, Booth 8, Choquette, Hall, Hickson ;
- > *hybrides mexicain x antillais*, très rares chez les variétés cultivées.

Tableau 8. Races et variétés d'avocatsiers

	Race Mexicaine	Race Guatémaltèque	Race Antillaise
Morphologie	Feuilles petites, à odeur d'anis. Fruits petits (50-250 g) ; peau mince et lisse ; noyau gros et libre	Feuilles grandes, sans odeur d'anis Volume des fruits variable ; peau épaisse, très dure et verruqueuse ; noyau adhérent	Grandes feuilles vert pâle, sans odeur d'anis Fruits de 400 à 900 g ; peau mince lisse, luisante, vert tendre ou jaune ou rougeâtre à maturité ; pulpe aqueuse ; noyau libre gros à surface ± côtelée
Teneur en huile	élevée	moyenne (10 à 20 %)	Faible
Ecart floraison/récolte	7 à 9 mois	10 à 12 mois	5 à 7 mois
Températures	Adaptée aux températures basses ou élevées	Intéressante pour zone marginales	Sensible au froid et à l'aridité
Sensibilité au froid	Résiste à - 6°C	Résiste à - 2°C	Résiste à 0°C
Climat	Semi-tropical à méditerranéen	Subtropical	Tropical
Tolérance à la salinité	Sensible	Faible	Tolérante
Avantages	Intérêt pour les régions froides Utilisation en porte-greffe	Race la plus cultivée	Résistance aux sols salés
Tolérance au <i>Phytophthora</i>	Légèrement tolérante	Sensible	Très sensible

Tableau 9. Caractéristiques des principales variétés d'avocatsiers

Variétés	Groupe	Race	Forme	Poids (g)	Ecorce	Couleur	Chair	Teneur en huile
Bacon	B	GxM	Ovoïde	250-300				16-18%
Fuerte	B	GxM	Piriforme	250-400	Fine	Vert sombre mat	Jaune pâle	16-18%
Ettinger	B	GxM	Piriforme allongé	250-350	Fine	Vert clair brillant		18-22%
Hass	A	G	Piriforme	250-350	Fine et verruqueuse	Vert devenant brun	Riche goût noisette	18-20%
Edranol	B	G	Rond à piriforme	250-350	Légèrement rugueuse	Vert olive	Légèrement noisetée	22%
Nabal	B	G	Obovoïde parfois sphérique	300-500	Épaisse +/- lisse	Vert foncé brillant		15%
Reed	A	G	Rond		Vert clair			
Lula	A	GxM	Rond à piriforme	350-500	Épaisse presque lisse	Vert clair à foncé-brillant	Jaune pâle	
Benik	A	G	Piriforme à elliptique	300-400	Dure et lég. granuleuse	Marbré de rouge		16%
Rincon	A	GxM	Piriforme	200-300	Épaisse et lisse	Vert brillant		16-18%
Ryan	B	GxM	Piriforme	250-400	légèrement rugueuse et coriace	Vert	Délicate	20%
Zutano	B	M	Piriforme	200-400		Vert clair	Ferme	15-18%
Orotava		G	Sphérique	300-450	Verruqueuse	brun		



► Figure 1 : Calendrier des variétés et pays d'origine des avocats consommés en Europe

● L'écologie de l'avocat

L'avocat est susceptible d'être cultivée sous des climats très différents, de l'équateur jusqu'à 43° degrés de latitude, et du niveau de la mer jusqu'à 2 500 m d'altitude au Mexique, au Guatemala et au Rwanda. Grâce à l'existence de trois races issues probablement d'une très ancienne sélection, ayant eu pour objet une adaptation à certains

types de climats, les avocateurs offrent une gamme de variétés adaptées à des conditions climatiques très variées. De nombreuses régions sont donc favorables à leur culture. Mais, compte tenu de cette diversité, la réussite d'une plantation d'avocateurs dépend en grande partie du choix judicieux des variétés et des porte-greffes en fonction de leurs exigences climatiques.

Les trois races ont en commun deux exigences climatiques :

- > une saison sèche marquée durant laquelle se produit la floraison. Des chutes de pluies abondantes à l'époque de la floraison sont en relation étroite avec la prolongation de la durée du phénomène en climat tropical humide ;
- > des températures minimales ne s'abaissant pas au-dessous de 7°C et des températures maximales atteignant au moins 19 et 20°C à l'époque de la floraison, pour que le phénomène de dichogamie, entre les variétés des groupes A et B, se produise sans perturbation.

● **La température**

Les races mexicaine et guatémaltèque, ainsi que certains hybrides, ont une bonne résistance au froid. Elles se développent correctement dans les climats caractérisés par des températures moyennes modérées ou faibles et la maturation de leur fruit n'exige pas beaucoup de chaleur.

Au contraire, les variétés antillaises sont typiquement des variétés de climat tropical à saison sèche marquée. L'ordre de grandeur des températures critiques est : - 5 à - 7°C pour les variétés de race mexicaine ; - 2 à - 4°C pour les variétés de race guatémaltèque; 0 à - 2°C pour les variétés de race antillaise. Parmi les variétés commerciales : Bacon, Duke, Fuerte, Topa Topa, Zutano ont une bonne résistance au froid, Edranol, Hass, Nabal, Taylor sont sensibles (- 2°C), Anaheim, Booth 7 et 8, Choquette, Hickson, Lula, Peterson, Pollock et Waldin sont très sensibles (- 1°C).

Les effets du froid dépendent cependant, pour une même variété, de nombreux facteurs, en particulier de l'âge de l'arbre, de sa vigueur, du stade végétatif et de son état sanitaire, de la durée des basses températures et de leur fréquence, ainsi que du passage plus ou moins rapide des températures positives aux températures négatives.

Les variétés des pays froids poussent bien en climat tropical humide mais ne produisent pas. Des températures trop élevées et prolongées, supérieures à 36°C, peuvent aussi avoir des effets néfastes sur le feuillage (flétrissement), sur la fécondation (dessiccation du pollen et des pièces florales), sur la nouaison (chute des fruits par abaissement excessif de l'humidité de l'air).

Les vents chauds et secs sont aussi préjudiciables. Ils peuvent faire avorter les fleurs et faire tomber les jeunes fruits. La chair des fruits est altérée au-dessus de 45°C et, au Cameroun, la qualité des fruits (saveur, teneur en huile) s'améliore, pour une même variété, avec l'altitude et donc avec l'abaissement des températures.

● **La pluviosité et l'hygrométrie**

La pluviosité des aires d'origine de l'avocatier est très variable en quantité annuelle et en répartition. Apparemment, l'avocatier aurait une grande souplesse d'adaptation à la pluviosité. D'une manière générale, l'avocatier exige une quantité d'eau de l'ordre de 1 200 à 1 600 mm/an, bien répartie. Les besoins en eau sont relativement faibles pour la race mexicaine, moyens pour les races guatémaltèque et antillaise.

Ils sont variables en fonction des stades végétatifs : un déficit hydrique de courte durée (deux mois) favorise l'initiation florale, notamment sous certains climats tropicaux caractérisés par des abaissements de température insuffisants pour entraîner un arrêt complet de végétation. Une pluviosité excessive au moment de la floraison provoque des phénomènes de coulure pouvant entraîner une chute de production importante. Des précipitations trop fréquentes nuisent également à l'efficacité des traitements fongicides et gênent les travaux de cueillette, dans les pays où la récolte a lieu en saison des pluies. Enfin, une pluviosité annuelle élevée (> 1 800 mm), avec des mois très pluvieux (> 300 mm), augmente les risques de développement du *Phytophthora*. Lorsque les sols ne drainent pas parfaitement, il est souvent préférable d'établir les vergers dans des régions moins humides (800 à 1 200 mm/an) et d'irriguer en saison sèche.

L'avocatier exige une humidité suffisamment élevée au moment de la floraison (70 à 80 %), puis plus modérée pendant la phase de grossissement des fruits. Un degré hygrométrique trop élevé est favorable au développement de maladies et de certains ravageurs tant sur les feuilles que sur les fruits (en particulier Cercosporiose, Scab, Anthracnose, Thrips et Cochenilles).

● **Le vent**

Comme la majorité des arbres fruitiers, l'avocatier est sensible à tous les vents et pas seulement aux vents violents qui brisent les branches ou déracinent les arbres et font chuter les fleurs et les fruits. Les fleurs peuvent être détruites par les vents secs et, par son action mécanique, le vent peut provoquer indirectement des blessures sur les fruits par frottement (en particulier sur les variétés fructifiant en grappes telles que Peterson, Booth 7 et 8, Lula) ou par transport de grains de sable. Les vents secs sont préjudiciables à la plante (forte augmentation de l'évapotranspiration), surtout en période de floraison. Enfin, l'avocatier est sensible aux embruns salés qui provoquent des nécroses marginales sur les feuilles.

● **La luminosité**

L'avocatier est une plante héliophile et les besoins en ensoleillement, élevés, sont de 2 300 à 2 500 heures par an. Cependant, un rayonnement trop intense peut occasionner des brûlures sur les branches, les troncs ou les fruits. On peut protéger les arbres des brûlures par blanchiment des charpentières et des troncs, par un badigeon de lait de chaux ou, dans le cas des jeunes arbres, par une protection avec des petites ombrières.

● **Les sols**

Le premier facteur à prendre en compte est l'état de drainage du terrain. Davantage encore que les agrumes, l'avocatier est extrêmement sensible à l'hydromorphie du sol, même lorsque celle-ci est faible et temporaire. Cette sensibilité tient à l'existence d'un champignon du genre *Phytophthora* qui s'attaque aux racines et à la base du tronc. Dans les régions tropicales, les sols à texture sableuse sont ceux qui conviennent généralement le mieux à la culture de l'avocatier car ces sols ont une perméabilité élevée et se ressuient rapidement après une pluie. On préfère les terrains situés en milieu et haut de versant ou sur un plateau plutôt que ceux situés en bas de versant ou dans une dépression. Les zones inondables sont impropres à la culture de l'avocat.

La profondeur du sol doit être au minimum de 1 mètre et si possible supérieure à 1,50 mètre, afin de permettre aux racines, et en particulier au pivot, d'exploiter un volume de sol maximum. La présence de graviers (élément de 0,2 à 2 cm) dans une proportion de 10 à 15 % du volume de terre n'est pas un inconvénient majeur. Dans les sols volcaniques, la présence de graviers de lave (ex. : pouzzolane) est même plutôt un facteur favorable car ces éléments grossiers améliorent la perméabilité et la macroporosité du sol.

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques, l'avocatier, comme la majorité des plantes cultivées, préfère les terres riches en éléments fertilisants. Compte tenu de la très forte toxicité du chlore pour l'avocatier, il est préférable d'éviter de le cultiver dans des sols salés ainsi que dans les régions où il est nécessaire d'irriguer où les eaux sont salées.

En résumé, les conditions écologiques sont définies essentiellement en fonction des risques d'attaque des racines ou des troncs par le *Phytophthora cinnamomi*. Le jour où l'on disposera d'un porte-greffe très résistant à ce champignon et où les techniques de multiplication utilisées actuellement (ou à l'étude) permettront la production d'un porte-greffe par voie végétative à des coûts modérés, le problème se posera différemment. En effet, l'avocatier se développe très bien dans les sols à texture moyennement ou fortement argileuse, pourvu que ceux-ci aient une bonne structure et un drainage interne correct.

● La culture

● Les principaux types de vergers d'avocatsiers

On distingue :

- > *le verger dit de case*, dont la production est consommée par la famille qui réalise les travaux cultureux. La superficie est largement inférieure à un hectare ;
- > *le verger familial*, dont la récolte est destinée en partie à la famille et en partie à la commercialisation sur les marchés de proximité (villages, villes). La main d'œuvre est principalement familiale, mais elle peut aussi être salariée. Dans ce cas, il s'agit en général d'ouvriers agricoles temporaires, rémunérés à la tâche. La superficie de ce type de verger dépasse rarement 5 ha ;
- > *le verger commercial*, dont l'objectif est de produire des fruits frais destinés à être vendus sur les grands marchés urbains nationaux ou à l'exportation. La main d'œuvre est constituée d'ouvriers salariés, permanents et temporaires. La superficie est très variable, d'une dizaine d'hectares à plus d'une centaine dans le cas de grandes sociétés. Plus les contraintes (éloignement du port ou de l'aéroport, qualité et coût de la main d'œuvre) sont nombreuses, moins la culture est rentable. Il est indispensable, avant de créer un verger de ce type, de faire une étude de marché et une étude économique.

● La création d'un verger

● Le choix du site

Dans le cas du verger de case ou familial, le choix est généralement extrêmement réduit. Si le minimum de conditions favorables n'est pas réuni, il est préférable de choisir des espèces plus rustiques que l'avocatier, culture très exigeante du point de vue des caractéristiques édaphiques. En effet, il est peu réaliste de s'engager dans des travaux d'aménagements *lourds*, tels que nivellement, drainage ou installation d'un réseau d'irrigation.

● L'implantation de brise-vent

Dans les régions soumises à des vents fréquents et violents, il est nécessaire de prévoir l'implantation d'un réseau de brise-vent. Les effets des brise-vent en culture d'avocateurs sont bien connus. Ils permettent une meilleure activité des insectes pollinisateurs en période de floraison, diminuent les phénomènes de dessèchement des fleurs et des jeunes fruits et limitent les ruptures de branches et les chutes de fruits.

Le choix d'un brise-vent n'est pas facile. Parmi les qualités recherchées, citons l'adaptation au climat et au sol, la croissance rapide, la rusticité, un feuillage persistant filtrant le vent mais ne l'arrêtant pas et un système racinaire qui ne concurrence pas les avocateurs. Il est important que le brise-vent ne soit pas une plante hôte pour des parasites de l'avocatier. Cet aspect exclut d'utiliser les avocateurs de semis comme brise-vent. En raison de leur système racinaire puissant et concurrentiel, des espèces comme le bambou et l'eucalyptus sont déconseillées, malgré leur rusticité et leur croissance rapide.

La hauteur du brise-vent doit être suffisante pour que les haies ne soient pas trop rapprochées. Dans la pratique, on prend comme base de calcul des espacements de dix à quinze fois la hauteur du brise-vent.

● La plantation

Après défriche de terrain boisé ou après arrachage d'un ancien verger, le terrain doit être soigneusement débarrassé de tout débris de souche ou de racine. En effet, ces débris permettent aux pourridiés, parasites incurables actuellement, de se propager dans le sol et de détruire progressivement la plantation. Il vaut mieux cultiver le terrain défriché pendant un ou deux ans avec des cultures maraîchères ou vivrières avant d'y implanter le verger. Des analyses de sol permettent de déterminer s'il y a lieu d'apporter des amendements ou d'effectuer des corrections minérales.

En culture mécanisée, on sous-sole profondément (60 à 80 cm) l'ensemble du terrain, puis on réalise les apports éventuels d'amendements. Lorsque c'est possible, on apporte 30 à 40 t de fumier à l'hectare. On laboure ensuite profondément en formant des ados centrés sur l'emplacement des rangs, puis on brise les mottes et régularise la surface au pulvérisateur à disques. Si la culture n'est pas mécanisée, on plante au trou.

Au tracé de la plantation, on veille au bon alignement des rangs et des diagonales ainsi qu'à la perpendicularité des alignements. Lors de la plantation, si le terrain a été préparé mécaniquement, on dégage une légère cavité au sommet de l'ados, on découpe le fond du sachet, on dégage l'extrémité du ou des pivots faisant un coude à 90 degrés au contact du fond du sachet et on la coupe au sécateur à partir du coude.

Pour assurer la meilleure reprise possible, il est préférable de mettre en place les plants au début de la saison des pluies.

● **L'entretien du verger**

● **Les soins après plantation**

Des arrosages (20 à 40 l/d'eau par plant et par semaine) peuvent être nécessaires pendant la phase de reprise. Le paillage de la cuvette autour du tronc du jeune arbre est souvent appliqué pour limiter l'évaporation et la pousse des mauvaises herbes. C'est une pratique coûteuse en temps de travail, souvent difficilement envisageable avec une main d'œuvre salariée. L'approvisionnement en paille suppose, par ailleurs, d'avoir des parcelles en végétation naturelle ou en jachère à proximité du verger.

Le jeune avocatier est sensible aux coups de soleil et aux vents desséchants. Aussi est-il parfois recommandé de procéder à un léger ombrage des plants pendant quelques mois : utilisation de palmes ou de graminées disposées sur des piquets, blanchissage du tronc avec un lait de chaux ou protection du tronc par un cylindre en carton de couleur claire. Contre le vent, on peut utiliser soit des brise-vent individuels (toiles ou claies) en demi-cercles orientés face aux vents dominants, soit des brise-vent en ligne (toiles ou culture de maïs, sorgho, ou pois d'Angole). Il est souvent nécessaire de tuteurer les jeunes arbres. Enfin, dans les régions où les risques d'attaques de rongeurs sont élevés, il est recommandé de protéger la base du tronc des jeunes plants par des cylindres en polyéthylène ou en grillage.

● **Les besoins en eau**

La phase juvénile va de la plantation jusqu'à l'entrée en pleine production des arbres, soit jusqu'à la sixième ou huitième année. Elle est caractérisée par une augmentation importante et continue du couvert végétal et des besoins en eau.

L'irrigation est nécessaire un peu avant que l'arbre ne manifeste des signes de flétrissement qui persistent après la nuit. Une teinte plombée du feuillage, un léger enroulement des limbes constaté en début de matinée, indiquent le besoin en eau. Avec un peu d'habitude, un arboriculteur reconnaît ces symptômes. La phase adulte correspond à des arbres en production, âgés de plus de six à huit ans, dont les frondaisons sont proches ou se touchent sur les lignes.

En première approximation, les besoins en eau peuvent être estimés à 70 % de l'évapotranspiration potentielle. Cette estimation peut servir de base, dans un premier temps, au praticien pour irriguer, mais il convient ensuite d'adapter les irrigations aux conditions particulières : microclimat, stade végétatif du verger. L'observation de l'état hydrique du feuillage est, là encore, un critère important d'appréciation des besoins en eau. Les quantités d'eau apportées doivent permettre de mouiller le sol sur 1 m à 1,2 m de profondeur. Vingt-quatre heures après l'irrigation, le sol doit être parfaitement ressuyé.

● **La fertilisation**

À l'exception de la plantation où des amendements organiques divers peuvent être apportés, la fertilisation de l'avocatier se fait sous forme d'engrais minéraux.

Le principe est d'augmenter la fumure chaque année, de la plantation jusqu'au stade adulte, puis d'appliquer une fertilisation uniforme après l'entrée des arbres en production (six à dix ans selon les conditions écologiques).

Dans les plantations de Floride, de Californie, d'Israël et d'Afrique du Sud, la fertilisation azotée est raisonnée en fonction des résultats du diagnostic foliaire, bien qu'il ne soit pas toujours possible d'établir des relations entre les rendements et les teneurs en azote des feuilles.

● **La taille**

Les avocatriers doivent recevoir une taille de formation, de façon à former un tronc d'environ 0,50 m de hauteur. Par la suite, la taille est réduite au strict minimum. Elle consiste principalement à supprimer les branches mortes ou trop basses, dont les fruits sont en contact avec le sol, ou encore les branches enchevêtrées au milieu de la frondaison. Quand les arbres deviennent trop grands (hauteur supérieure à 4 à 5 m), il est nécessaire de procéder à l'écimage pour faciliter la cueillette. Cet écimage peut être répété au cours de la vie de l'arbre. Toutes les coupes pratiquées sur les branches doivent être suivies d'un masticage pour éviter la pénétration des champignons et des insectes. Les premières années, il est souvent nécessaire de supprimer les repousses sur le porte-greffe.

● **La production actuelle**

Le Mexique est de loin le premier producteur et exportateur mondial d'avocats. Les Etats-Unis, la Colombie et l'Indonésie sont les autres grands pays producteurs. Le Chili, Israël, l'Espagne et l'Afrique du Sud sont les autres principaux pays exportateurs.

LES BANANIERS

Genre *Musa*

Français : banane, plantain

Anglais : banana, plantain, cooking banana

Espagnol : banano

Portugais : banana

Famille des Musaceae

● **La classification botanique**

La classification botanique des bananiers est assez complexe. Monocotylédones, de l'ordre des Scitaminales, de la famille des Musaceae, de la sous-famille des Musoïdeae, ils comprennent plusieurs genres dont :

> le genre *Ensete* (ancien *Musa ensete*), qui est présent en Asie, Afrique et Amérique latine, mais n'est cultivé qu'en Ethiopie (consommation du rhizome fermenté et surtout de la pulpe du pseudotrunc). Il ne rejette pas naturellement ;

> le genre *Musa*, qui se divise en espèces séminifères à fruits non comestibles et variétés à fruits charnus sans graines (parthénocarpiques). Les espèces à graines se répartissent en cinq sections : Australimusa (dont *M. textilis*, espèce à fibre), Callimusa (dont *M. coccinea*, espèce ornementale), Rhodochlamys (dont *M. ornata*, espèce ornementale), Ingentimusa (dont *M. ingens*, bananier sauvage géant) et Eumusa. Dans la section Eumusa, se trouvent *Musa acuminata* (symbole de génome : A) et *Musa balbisiana* (symbole de génome : B), espèces qui sont à l'origine des variétés cultivées.

Tableau 10. Variétés classées selon leur niveau de ploïdie et leur constitution génétique

Groupe	Sous groupe	Cultivars	Type de fruit	Distribution
AA	Sucrier	Pisang Mas/Frayssinette/Figue Sucrée	dessert-sucré	tous continents
		Pisang Lilin	dessert	Indonésie/Malaisie
		Pisang Berangan/Lakatan	dessert	Indonésie/Malaisie/Philippines
AAA	Cavendish	Lacatan/Poyo/Williams/Grande Naine/ Petite Naine	dessert	tous continents, pays exportateurs
		Gros-Michel	Gros-Michel/Highgate/Cocos	dessert
	Figue-Rose	Figue-Rose rose/Figue-Rose verte	dessert	tous continents
	Lujugira	Intuntu/Mujuba	à bière/à cuire	Afrique de l'Est et Centrale, Colombie
	Ibota	Yangambi km5	dessert	Indonésie/Afrique
AB	Ney Poovan	Safet Velchi/Sukari	dessert-acidulé	Inde/Afrique de l'Est
AAB	Figue-Pomme	Maçà/Silk	dessert-acidulé	tous continents
	Pome	Prata	dessert-acidulé	Inde/Malaisie/Australie/ Afrique de l'Ouest/Brésil
	Mysore	Pisang Ceylan	dessert-acidulé	Inde
	Pisang Kelat	Pisang Kelat	dessert	Inde/Malaisie
	Pisang Rajah	Pisang Rajah Bulu	à cuire	Malaisie/Indonésie
	Plantain	French/Corne/Faux Corne	à cuire	Afrique Centrale et de l'Ouest/ Amérique Latine/Caraïbes
	Popoulou	Popoulou	à cuire	Pacifique
	Laknao	Laknao	à cuire	Philippines
	Pisang Nangka	Pisang Nangka	à cuire	Malaisie
ABB	Bluggoe	Bluggoe/Matavia/Poteau/Cacambou	à cuire	tous continents
	Pelipita	Pelipita	à cuire	Philippines/Amérique Latine
	Pisang Awak	Fougamou	dessert	Inde/Thaïlande/Philippines/ Afrique de l'Est
	Peyan		à cuire	Philippines/Thaïlande
	Saba	Saba	à cuire	Philippines/Indonésie/Malaisie

Les tétraploïdes naturels sont très rares, mais l'amélioration génétique actuelle propose de plus en plus de nouveaux hybrides tétraploïdes (issus de diploïdes et triploïdes améliorés ou sélectionnés pour leurs caractères de résistance à diverses maladies).

● Les utilisations du bananier

Le bananier est avant tout une plante alimentaire cultivée pour son fruit consommable frais (bananes dessert) ou cuit (plantains et autres bananes à cuire), qui constitue une source importante d'hydrates de carbone. La banane est un fruit hautement énergétique.

Plus rarement, on consomme la pulpe séchée et réduite en farine ou fermentée comme boisson (bière de banane). Les fruits verts et les gaines foliaires servent parfois pour l'alimentation du bétail. Les feuilles et les longues fibres des gaines foliaires sont utilisées pour l'emballage et la fabrication d'objets artisanaux. Une espèce particulière, *Musa textilis* (abaca) est exploitée pour l'extraction des longues fibres des gaines foliaires (Philippines, Equateur et Inde).

Tableau 11. Valeur alimentaire de la banane

Pour 100 g	Banane (Cavendish)	Plantain
Eau (g)	71,6	68,2
Glucides (g)	25,5	29,3
Protides (g)	1,2	0,9
Fibres (g)	0,6	0,4
Lipides (g)	0,3	0,2
Cendres (g)	0,8	1,0
Energie alimentaire (Kj)	425,0	476,0
Ca (mg)	12,0	19,0
P (mg)	32,0	38,0
Fe (mg)	0,8	0,6
K (mg)	401,0	352,0
Na (mg)	4,0	3,0
Equi. carotène (µg)	225,0	475,0
Thiamine (mg)	0,03	0,15
Riboflavine (mg)	0,04	0,06
Acide ascorbique (mg)	0,6	0,7

Source : FAO, 1972

● La plante et son environnement

● La plante

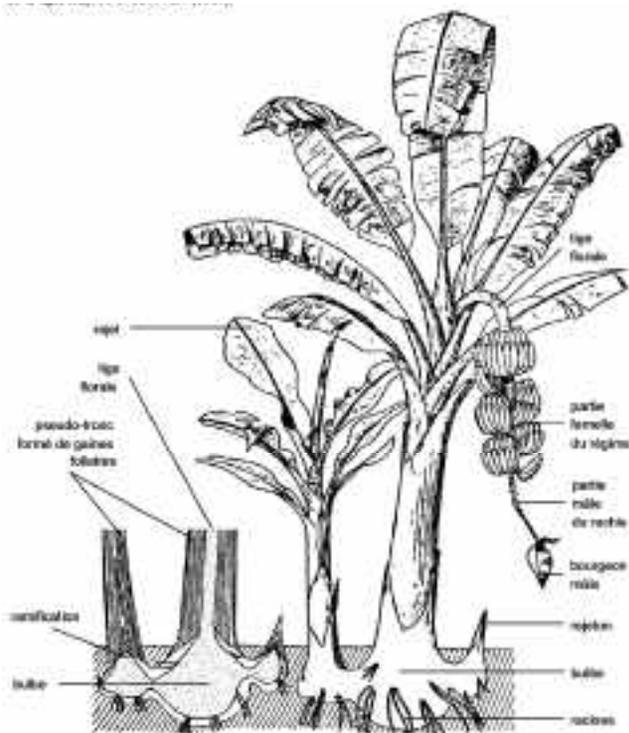
● L'origine et la diversification

Les variétés actuelles proviennent des bananiers sauvages à graines présents en Asie du Sud-Est (de l'Inde à l'ouest aux Philippines à l'est, de la Malaisie au nord à l'Australie au sud), où se situent la plus grande diversité ainsi que le centre primaire de diversification du genre.

Les variétés se sont répandues dans toutes les zones intertropicales humides et chaudes, des plaines jusqu'à 2 000 m d'altitude, débordant parfois dans certaines zones subtropicales. Des centres de diversification secondaire existent en Afrique de l'Ouest et centrale (bananiers plantains) et sur les hauts plateaux d'Afrique de l'Est (bananes à cuire et à bière).

● La morphologie et la croissance

Les bananiers sont des plantes herbacées. La taille du pseudo tronc varie de 1,50 à 8 m de hauteur selon les espèces et les variétés. D'une souche souterraine vivace, globuleuse (0,30 à 0,60 m de diamètre) appelée aussi rhizome ou bulbe, naissent d'abord de longues feuilles de dimensions croissantes.



► Figure 2 : représentation d'un bananier au moment de la fructification, avec ses rejets, et coupe longitudinale de la tige, d'après Champion (1987)

Le méristème terminal de la souche reste au-dessus du niveau du sol au cours de la période végétative, pendant laquelle quinze à vingt-cinq feuilles (jusqu'à quarante pour certains plantains) fonctionnelles sont émises au rythme d'une par semaine environ. Leurs gaines s'imbriquent, en une phyllotaxie spiralée, pour former le pseudo tronc (improprement appelé tronc). Elle se prolongent par un pétiole épais puis une nervure centrale séparant un vaste limbe en deux parties sensiblement égales.

Le passage de l'état végétatif à l'état floral s'opère trois mois environ avant la sortie du bourgeon floral. Il se traduit par une modification du méristème terminal qui s'allonge, puis ébauche des structures inflorescentielles. Dans un deuxième temps, se développe, à l'intérieur du pseudo tronc, un long pédoncule, à croissance très rapide (de 5 à 8 cm/jour en moyenne) qui porte l'inflorescence à l'air libre, hors de la couronne foliaire.

L'inflorescence est un épi de cymes : l'axe inflorescentiel porte des bractées violacées à l'aisselle desquelles les fleurs sont en général insérées sur deux rangs. L'ensemble d'une bractée et des fleurs correspondantes forme ce que l'on appelle communément une *main*, chaque fleur représentant alors un *doigt*. Les premières fleurs développées sur les six à douze premières mains sont dites *femelles* et donneront ultérieurement les fruits du régime. Les fleurs des mains qui suivent sont dites *mâles*. Elles dégènereront après la floraison et ne donneront jamais de fruits. Les bractées tombent les unes après les autres. Après sa sortie, l'inflorescence a tendance à pendre et chaque fleur se redresse alors le long de l'axe inflorescentiel; les fruits ensuite s'allongent puis grossissent.

Le régime qui est constitué de l'ensemble des mains de bananes et de l'axe (hampe) porteur est généralement récolté avant maturité. Le régime vert peut être conservé et transporté en conditions réfrigérées et suffisamment humides.

La plante, qui ne peut donner qu'un seul régime par cycle, est coupée à sa base ; sinon elle fane progressivement. La souche produit durant la croissance de la tige principale assez de rejets latéraux enterrés pour assurer la succession végétative, un seul rejet étant alors conservé pour mener le cycle suivant.

Une tige possède une durée de vie de six à dix-huit mois. Grâce à la succession végétative, une bananeraie peut durer des dizaines d'années.

● **L'écologie du bananier**

Le bananier est une plante exigeante en eau, sensible aux basses températures et aux vents. Les sols doivent être sains, aérés et riches en azote et potasse.

● **L'eau**

Le sol doit être suffisamment pourvu en eau, les racines n'absorbant aisément que le tiers de la tranche dite habituellement *utile*. En climat chaud et humide, on considère généralement que les besoins sont couverts avec 125 à 150 mm par mois. Mais l'évapotranspiration maximale peut être plus élevée et dépasser 200 mm. Les besoins sont plus élevés en régions sèches et chaudes ou en situations très ventées.

Les bananiers se défendent contre des déficits momentanés en repliant les demi-limbes des feuilles, mais ils résistent mal aux sécheresses de plus d'un mois. Le pseudo tronc peut alors casser. Il existe une certaine variabilité entre groupes et sous-groupes de bananiers vis-à-vis de la tolérance à la sécheresse.

● **La température**

L'optimum est voisin de 28°C (température interne). Au-delà de 35-40°C des anomalies surviennent. En dessous de 24°C, la vitesse de croissance baisse pratiquement de façon linéaire avec la température jusqu'à 15-16°C. Elle s'annule complètement vers 10-11°C. Les feuilles jaunissent à des températures de 4 à 6°C, certains cultivars résistant un peu mieux que d'autres. La souche ne meurt que par gel.

Sous les 12°C, les bananes sont déformées et se nécrosent. Les fruits subissent aussi des dommages dans le péricarpe, qui présente des tirets noirs en coupe longitudinale (fissure, ou pigmentation). Les échanges gazeux sont ralentis et la maturation est difficile. Le phénomène se produit au champ, mais aussi en cours de transport.

● **La lumière**

Le bananier supporte de fortes insulations, si l'approvisionnement hydrique est satisfaisant. La nébulosité ralentit la végétation et augmente la taille des rejets. 1500 à 1800 heures d'insolation est un seuil limite et 2 000 à 2 400 heures sont favorables. Une insolation brutale avec un déficit hydrique provoque un palissement des limbes puis des nécroses (brûlures), notamment sur les jeunes bananiers.

● **Le vent**

Les vents permanents peuvent réduire les rendements, les vents violents interdire la culture : chutes, cassures des pseudo troncs. Les vents provoquent également des lacérations de limbes.

● **Les sols**

Les racines étant peu pénétrantes, le sol doit être meuble, bien aéré. Le manque de structure, le mauvais drainage, la compacité sont des défauts graves pour la culture. Les sols ayant un horizon durci ou gravillonnaire, et ceux dont la nappe phréatique est trop superficielle sont impropres à la culture du bananier. La nappe doit se trouver au moins à 80 cm de profondeur.

Le bananier supporte des pH de 3,5 à 8 mais, en général, on tente de l'amener entre 5,5 et 7,5 par des amendements. Le bananier a des besoins importants en azote (immobilisations : 250 kg/ha ; exportations : 80 kg pour 40 t/ha de régimes) et en potassium (immobilisations : 1 000 kg/ha ; exportations : 240 kg pour 40 t/ha). Les besoins en Mg sont non négligeables, ceux en P et Ca relativement faibles.

Les apports d'azote sont indispensables, sauf pour certains sols très organiques. Il en est de même pour le potassium quand les teneurs du sol sont inférieures à 1 à 2 meq/100 g. Le bananier peut supporter une légère salinité des eaux d'irrigation et du sol : jusqu'à 300 mg/l de NaCl, 1 500 ppm de sels totaux, conductivité électrique < 0,5 millimohs/cm.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

La culture des bananiers pour l'exportation est presque exclusivement basée sur les variétés du sous-groupe Cavendish. Cette production est faite en monoculture intensive et nécessite des intrants et investissements importants : irrigation, traitements aériens, station d'emballage.

Les productions pour les marchés locaux (plantains, bananes à cuire et autres bananes *dessert*) s'inscrivent dans une gamme très large de systèmes de culture qui vont de l'extensif fondé sur le brûlis forestier à des associations complexes avec des cultures pérennes (cacao, café, palmier...), vivrières (macabo, manioc, arachide, maïs) et fruitières (agrumes, avocatier, papayer, manguier, arbre à pain...). Ces systèmes, économes en intrants, peuvent être intensifs en travail. Ils concernent une grande diversité d'itinéraires techniques en terme de densité, de gestion de la diversité variétale (Afrique centrale) et de modalités de conduite de la plante : trouaison, tuteurage, buttage, etc.

● **L'élaboration du rendement et l'itinéraire technique**

● **La mise en place de la culture**

Un des facteurs les plus limitants pour la production bananière est le parasitisme tellurique, notamment les nématodes des racines. Pour limiter son impact, un principe important doit être respecté lors de la mise en culture : planter du matériel sain sur un sol sain.

L'intégration de la jachère et des rotations culturales couplée au choix et à la préparation du matériel de plantation sont des gages de productivité sur le long terme, particulièrement dans le cadre d'une monoculture intensive. Afin de limiter les infestations du sol par les nématodes, il est ainsi conseillé, lors d'une replantation, de détruire toutes les repousses de bananiers au moins un an avant la replantation. Si une jachère ou une rotation est utilisée, il faut veiller à ce que les plantes n'hébergent pas les nématodes parasites du bananier, comme c'est le cas pour le maïs ou le gombo.

En culture extensive et en zone forestière, la préparation du sol consiste principalement à dégager la végétation naturelle ou celle du précédent cultural avant une trouaison manuelle.

En culture intensive, on pratique un ameublissement de profondeur maximale, généralement sans modification de l'ordre des horizons (sous-solage). Des drains ouverts doivent être creusés, si nécessaire, pour abaisser la hauteur de la nappe phréatique.

En culture intensive, la conduite à un seul rejet successeur est généralisée, la densité initiale de plantation étant maintenue, sauf en raison de pertes par maladies, chutes, etc. La densité pour les cultivars les plus communs varie entre 1 600 et 2 000 pieds/ha, parfois 2 500 en régions très ensoleillées. Par ailleurs, de nombreux dispositifs de plantation existent (en lignes simples ou jumelées par exemple).

En culture extensive ou associée à d'autres cultures, les densités sont moindres et varient en fonction du nombre de tiges porteuses. La conduite du bananier à plusieurs tiges devrait être limitée par un œilletonnage sélectif à trois tiges lors du démarrage du deuxième cycle de production.

La qualité sanitaire du matériel de plantation (essentiellement vis-à-vis des nématodes) est essentielle pour la productivité et la longévité de la bananeraie. L'utilisation de vitroplants tend à se généraliser en culture industrielle du fait de leur haute qualité sanitaire.

Pour les autres types de matériel végétal, une préparation adéquate est importante. Elle consiste en un parage des bulbes (élimination des racines et d'une couche très superficielle, quelques mm incluant les parties éventuellement nécrosées) et l'exclusion de tout matériel douteux ou trop nécrosé. Le matériel peut être *praliné*, c'est-à-dire plongé dans un mélange de nématicide (1 g de m.a./souche) et de pâte argileuse (pralin).

Le matériel végétal, qui doit être d'autant plus homogène que la densité est élevée, sera classé en catégories : vitroplant sevré (quatre à six feuilles larges), souche pourvue d'un rejet attendant (production précoce et élevée), souche simple entière, portion de souche, gros rejet, rejet moyen, petit rejet, plant issu de bourgeon élevé en pépinière. De la terre meuble doit être placée au fond du trou à la plantation, le collet devant se trouver au plus à 10-15 cm sous le niveau du sol.

● **L'entretien**

Les techniques de paillage sont conseillées mais malheureusement peu utilisées : elles maintiennent l'humidité du sol et limitent l'enherbement. Le désherbage manuel ou chimique est le plus souvent utilisé. Les désherbants sont à utiliser avec précaution, préférentiellement en post-levée, avec des herbicides de contact ou systémiques. Pour éviter un fort enherbement en début de plantation, la technique du faux semis est efficace : levée provoquée des adventices puis destruction par glyphosate ou sulfosate.

Un enherbement bien contrôlé en début de plantation et aux périodes de récolte (découvrement du sol) aboutit au maintien de bananeraies propres dès qu'elles sont ombragées par le couvert foliaire.

Une bonne technique d'œilletonnage est déterminante pour obtenir un bon rendement. Elle consiste à couper et écœurer tous les rejets de la plante sauf un¹ qui servira pour le cycle suivant. L'œilletonnage doit répondre à trois objectifs :

- > sélectionner les rejets les plus performants en évitant les phénomènes de concurrence ;
- > maintenir l'homogénéité de la répartition spatiale des plants sur la parcelle ;
- > maintenir un même nombre de plants sur la parcelle à chaque cycle.

En pratique, le choix du rejet est fait pour conserver l'alignement des plantes dans le rang, et garantir une succession de qualité : rejet à feuille large possédant un bulbe bien développé. Sur des terrains en pente, le rejet conservé sera orienté vers le haut; sur terrain plat, il devra être choisi en direction de la provenance du vent.

L'œilletonnage se fait à la machette, dès que la couronne de rejets apparaît autour du bulbe *mère* et qu'elle a atteint une hauteur entre 20 et 70 cm. Un deuxième passage est nécessaire quatre à huit semaines après le premier.

La technique est particulière pour les vitroplants en premier cycle : les premiers rejets (maximum cinq) doivent être détruits à la gouge car ils ne présentent pas une qualité agronomique suffisante.

Les besoins en eau sont estimés à environ 50 m³/ha/jour (5 mm/jour) par temps ensoleillé, 36 m³/ha/jour (3,6 mm/jour) par temps mi-couvert et 19 m³/ha/jour (1,9mm/jour) par temps couvert.

Afin de garantir un niveau de productivité et de qualité élevé et constant en culture intensive, l'irrigation par aspersion et localisée tend à se généraliser. Dans certaines situations, on irrigue par rigoles, cuvettes, ou par calants (Canaries). L'irrigation à débit réduit est utilisée sur les sols favorables, conservant bien l'humidité.

Le bananier est très sensible aux asphyxies racinaires (variations de hauteur de la nappe), et un drainage (maintenant le niveau de la nappe à - 60 cm) est parfois nécessaire. Le tuteurage (tuteur vertical enfoncé dans le sol), l'éclayage (avec deux perches souvent de bambou) ou le haubanage (avec des ficelles de plastique) des plantes sont des pratiques recommandées pour lutter contre les vents qui provoquent la chute des bananiers.

Des analyses annuelles du complexe d'échange du sol sont nécessaires pour garantir un équilibre optimal des apports en éléments majeurs du bananier. L'emploi de fumure organique (compost, paillage) n'est limité que par son coût, les résultats étant généralement excellents, y compris en culture fertilisée.

L'azote doit être apportée à raison de 100 à 150 g par plante, avec fractionnement. Sur des sols pauvres en potassium, 200 à 500 g de K₂O devront également être apportés de façon fractionnée, et 500 g par pied de chaux magnésienne si les sols sont acides, désaturés et sujets à lixiviation. Les apports d'oligo-éléments sont pratiqués sur symptômes de carence ou déficience révélée par analyse foliaire. La fumure perd beaucoup d'efficacité dans le cas de fortes atteintes de nématodes ou de charançons.

¹ Parfois deux ou trois en culture extensive.

● La défense des cultures

Les maladies virales

Le *Bunchy top* (BBTV) est la maladie virale la plus grave des bananiers. Elle est transmise par des pucerons (surtout *Pentalonia nigronervosa*). Elle est présente dans les îles du Pacifique, en Asie. Elle est en expansion dans certains pays africains², mais est absente du continent américain. On doit éradiquer les pieds malades et les détruire.

La mosaïque en plage (CMV), maladie insidieuse, présente dans tous les pays producteurs, se développe parfois fortement et doit donner lieu à une éradication des pieds atteints et de leurs rejetons. Elle est transmise par les pucerons (surtout *Aphis gossypii*). Certaines plantes adventices en sont des réservoirs potentiels (exemple : *Commelina* sp.). Les vitroplants en phase de sevrage sont plus sensibles aux piqûres de pucerons et de ce fait au CMV.

La mosaïque en tirets (BSV), est présente sporadiquement dans de nombreux pays et doit aussi donner lieu à l'éradication systématique des pieds atteints et de leur rejets. Des formes particulières de la maladie ont été récemment signalées sur certains hybrides issus de l'amélioration génétique.

D'autres maladies virales existent comme la mosaïque des bractées (BBVM : Philippines, Inde, Pacifique), et un virus de type filamenteux récemment identifié (BanMMV). Des tests sérologiques et des observations sous microscopie électronique, dans quelques laboratoires spécialisés, permettent de détecter ces maladies.

Les maladies fongiques

La fusariose (*Fusarium oxysporum* F. Sp. *cubense*), agent de la *maladie de Panama*, provoque l'obstruction des canaux vasculaires des plantes : les sols infestés ne peuvent plus être plantés avec des variétés sensibles. Les variétés Cavendish sont tolérantes sauf pour la race 4 (présente en Asie, Afrique du Sud, Australie et aux Canaries). Aucun remède n'est disponible et des recherches génétiques sont en cours.

La maladie de Sigatoka ou cercosporiose jaune, affecte les feuilles des variétés de Cavendish et d'autres telles que les variétés du groupe AAB comme les *Figue-Pomme*. La maladie des raies noires (ou cercosporiose noire) est plus agressive que la précédente qu'elle a remplacée dans presque toutes les zones de production. Elle affecte une gamme plus large de bananiers incluant les plantains.

Les traitements contre ces deux maladies se font généralement par voie aérienne (parfois avec pulvérisateur à dos) pour atteindre les dernières feuilles émises. Il est préférable de déclencher ces traitements sur avertissement biologique (et éventuellement climatique). Dans ces conditions, le nombre de traitements est limité (entre huit à dix-huit selon les conditions). Il est réalisé à base de 12 à 15 litres/ha d'huile minérale (fongistatique) auxquels on ajoute un fongicide systémique (groupes des benzimidazoles, des triazoles, des morpholines ou des strobilurines). Dans tous les cas l'alternance des matières actives est obligatoire et le nombre d'applications doit être limité afin de diminuer le risque d'apparition de résistances. Dans le cas d'apparition de résistances importantes, l'emploi de fongicides de contact, peu rémanents, est nécessaire (dithiocarbamates, 1 kg MA/ha) et implique un nombre de traitements élevés.

² Burundi, Rwanda, Congo, RDC, République centrafricaine, Gabon et Egypte.

D'autres champignons atteignent le fruit avant la récolte (*Trachysphaera fructigena* au Cameroun), ou restent latents et ne se développent qu'après la récolte en mûrisserie, comme les agents de la pourriture de la couronne (sur pédicelle, associant plusieurs champignons dont des *Fusarium*) et du chancre sur les fruits (anthracnose due à *Colletotrichum musae*). L'épistillage et un ensachage précoce des régimes sur pied sont recommandés pour mieux contrôler cette dernière maladie. Cependant, l'emploi de fongicides avant l'emballage (thiabendazole) s'avère souvent nécessaire.

Enfin, des champignons du genre *Cylindrocladium* présents dans certains sols (Antilles), peuvent provoquer de graves lésions racinaires, en association avec les nématodes.

Les maladies bactériennes

La maladie de Moko, causée par *Ralstonia solanacearum*, est surtout présente en zone américaine et aux Philippines. D'autres maladies bactériennes apparentées sont présentes en Asie (maladie de Bugtok, *Blood disease*). La seule forme de lutte consiste à éradiquer les aires infectées et à pratiquer des rotations culturales. Des pourritures humides du pseudotrunc ou du bulbe peuvent être causées par *Erwinia* sp.

***Cosmopolites sordidus*, le charançon du bananier**

Les femelles pondent à la surface des rhizomes dans lesquels les larves se développent, en creusant des galeries caractéristiques. On traite en fonction de l'évolution des infestations (observations par décorticage des souches), par application sur le pourtour de la base des plants de poudres ou granulés d'insecticides. Les produits efficaces autorisés sont peu nombreux : carbofuran et terbufos (trois fois/an), fipronil (deux fois/an). Des pièges à phéromones sont aussi disponibles.

Les nématodes parasites des racines

Les deux espèces les plus dangereuses sont *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* (parfois *Meloidogyne* sp.), endoparasites destructeurs des racines : les infestations ne se manifestent que par la baisse progressive des rendements et la chute partielle des bananiers. On évalue rapidement le degré d'infestation par des comptages sur échantillons de racines.

La lutte préventive est efficace : elle consiste à planter du matériel sain sur un sol sain (jachère d'au moins un an sans repousse de bananier ou rotation culturale). L'application de produits nématicides (en alternance, deux ou trois fois par an) est possible mais coûteuse, polluante et d'une efficacité limitée : isasophos, phenamifos, carbofuran, terbufos, cadusaphos, oxamyl.

● **Les autres ravageurs**

De nombreux autres ravageurs des bananiers existent. Ils provoquent des dégâts saisonniers sur différentes parties de la plante (*bulbe* : larves de lépidoptères ou mélo-lontoïdes ; *pseudo tronc* : charançon rayé ; *feuille* : chenilles défoliatrices de lépidoptères, aleurodes, cochenilles, acariens ; *fruit* : thrips, pucerons, cochenilles, coléoptères, mouches et guêpes). Ils ont souvent une spécificité régionale et nécessitent des méthodes de lutte particulières. Certains gastéropodes peuvent provoquer d'importants dégâts, ainsi que des vertébrés : taupes, oiseaux, chauves-souris.

● Les temps de travaux

En plantation industrielle de banane, avec une production moyenne de 50 t/ha net export, il faut prévoir entre 0,8 et 2,5 hommes/ha. Du fait de la grande diversité de situations, la déclinaison par type de travaux est très variable. Quelques exemples :

- > plantation de vitroplants : 5 jours/ha ;
- > arrachage de matériel de plantation : 100 souches ou 200 rejets/homme/jour ;
- > transport de 100 régimes/homme/jour.

Tableau 12. Enquête temps de travaux réalisée sur plantain au Cameroun

	Plantain extensif (forêt), 1 ^{er} cycle	Plantain extensif (forêt), 3 ^{ème} cycle	Plantain intensif 1 ^{er} cycle
Densité (pieds/ha)	900	900	1666
% pieds récoltés	95	40	90
Poids régime (kg)	9,3	8,0	8,0
Production (kg)	8 000	3 000	12 000
Jours/ha (estimation maxi)			
<i>Défriche/préparation sol</i>	25,0		
<i>Trouaison</i>	15,6	4,0	29,0
<i>Plantation</i>	9,4	2,3	17,3
<i>Désherbage</i>	22,5	15,6	41,7
<i>Traitement</i>	0	0	1,3
<i>Récolte</i>	40,6	17,0	71,5
Total	113,1	45,9	160,8

Source : *Plantain* ; L. TEMPLE & all, Fruits, 1993, vol 48, n°2.

● La récolte et les opérations post-récolte, la qualité des produits

● La récolte

La partie mâle du régime (dite *popotte*) est supprimée quinze à vingt jours après la floraison (2 à 5 % de gain de poids du régime) tandis que les vestiges de fleurs à l'apex des fruits (en culture intensive) peuvent être supprimés vers cinq à huit jours (épistillage). Cette opération cependant est plus souvent faite après la récolte.

En culture intensive, les régimes récemment émis sont protégés par une gaine plastique (polyéthylène de trois à huit centièmes de mm d'épaisseur) transparente et parfois colorée : protection contre certains parasites (Thrips) et contre le froid (gain de poids de 5 %).

L'intervalle entre émission florale et récolte est, dans les conditions optimales de température, de 80 à 90 jours : il s'allonge par temps sec ou frais (120 jours). En climat avec une saison froide (Israël, Canaries, altitude en zone tropicale), il peut atteindre 150 jours.

Le point de coupe commercial pour l'exportation est défini par le grossissement du fruit (grade). Il varie pour les bananes du sous-groupe Cavendish de 32 à 36 mm, diamètre du fruit à mi-longueur.

Le grade est la norme qui remplace les anciennes classes de trois quarts léger, trois quarts plein. Les fruits doivent être exempts de blessures, grattages de peau, atteintes fongiques, nécroses, etc.

● Le système après-récolte des filières d'exportation

Les régimes récoltés sont généralement transférés dans un hangar de conditionnement. Le transport se fait soit par *cable ways*, soit par remorques spéciales équipées de systèmes de maintien et de protection des régimes afin de minimiser les risques de lésions au niveau des fruits.

● Le dépaillage

Au hangar, les régimes sont douchés et épistillés (élimination des pièces florales). les mains sont ensuite dégagées de la hampe (dépaillage) au dessus d'un bac d'eau. Le dépaillage est réalisé soit du haut vers le bas, soit du bas vers le haut. Dans le premier cas, les mains de bananes sont séparées de la hampe par un outil spécifique : *banacut*. Dans le second, les tronçons de hampe sont découpés avec les mains.

Ce tronçon de hampe sera ensuite réduit et mis en forme. Cette technique se développe de plus en plus, car elle garantit une épaisseur de coussinet (tissu d'insertion des mains sur la hampe) suffisante lors de la séparation des mains en bouquets (ou clusters). Les clusters possèdent la taille moyenne de cinq à six bananes pour les Cavendish. La découpe des coussinets doit être franche et de forme cubique, sans générer d'angles agressifs. Elle est réalisée sur tablette ou dans l'eau. Dans le cas des plantains, les fruits sont généralement découpés individuellement.

● Le lavage et le conditionnement

Les bananes passent ensuite soit dans un bac d'eau, soit dans un tunnel d'aspersion. Cette séquence de lavage permet d'éliminer la sève (latex) libérée par les tissus au niveau de la blessure de découpe et toute autre particule, organique ou non, pouvant être présente sur les fruits. Une phase de ressuyage est préconisée afin de limiter les risques de dilution du produit fongicide, appliqué par aspersion ou par trempage. Les fongicides utilisés appartiennent aux groupes des benzimidazoles et triazoles.

Le conditionnement dans un sac polyéthylène placé dans un carton assure une double protection contre les chocs et la déshydratation. Quand le polyéthylène ne présente aucune perforation, la respiration des fruits génère une atmosphère modifiée. Il faut alors s'assurer que les taux d'oxygène et de gaz carbonique obtenus ne portent pas préjudice à la survie et l'évolution future des fruits. L'atmosphère à l'équilibre dépend du type de polyéthylène et de l'épaisseur du film, mais aussi de la température de stockage, qui doit être impérativement stable. Cette technique peut apporter une sécurité complémentaire dans la conservation, en réduisant la vitesse d'évolution des fruits et donc le développement de certains pathogènes. Selon le cultivar, le type d'emballage et la catégorie des fruits, le conditionnement se fait soit à l'unité (rangées superposées de doigts), soit en trois, quatre ou cinq rangées de cinq à sept bouquets.

La palettisation des cartons, introduite assez récemment dans le monde bananier, permet de réduire le nombre de manipulations et facilite le remplissage des chambres froides, des conteneurs ou des cales de navire.

● **Le stockage et la maturation**

Le stockage des fruits, pour le transport ou la conservation, se fait à température dirigée de l'ordre de 13,5 à 14°C. Les fruits verts peuvent ainsi être conservés de deux à quatre semaines selon les variétés. En dessous de 13°C, les fruits vont présenter une altération par le froid, appelée frisure, dont la manifestation sera d'autant plus violente que la température sera basse.

Pour les fruits destinés à être consommés mûrs, un traitement à l'éthylène permet d'initier l'entrée en maturation des fruits. Ce traitement est réalisé en chambre étanche et humide (au moins 90 % d'humidité) en mûrisserie de type industriel. Pour les fruits de la variété Cavendish, il est d'usage d'appliquer une concentration de 1 pour 1 000 d'éthylène (Azethyl), pour un temps de contact de l'ordre de deux jours, à 17 ou 18°C). La concentration en éthylène, le temps de contact et la température peuvent être adaptés au cas par cas, selon les variétés et les conditions de mise en marché. Les fruits, stockés ensuite en vue de leur commercialisation, évolueront plus ou moins vite en maturation selon la température des chambres (16 à 20°C pour les cultivars de la variété Cavendish).

Les bananes peuvent alors être livrées aux distributeurs. Selon la technique de maturation, la variété et l'époque de l'année leur durée de vie à l'étalage est de l'ordre de quatre à six jours.

● **Le système après-récolte des filières de consommation locale**

Si la filière est importante, le schéma précédent peut être appliqué. Pour les coopératives ou les petits producteurs, il est possible de préserver et contrôler la qualité par une démarche adaptée : récolte et transport des régimes sans blesser les fruits, stockage en local ventilé.

La conservation peut se faire en régimes, en mains ou en bouquets (un traitement fongicide peut être envisagé dans ces deux derniers cas). Le potentiel de conservation dépend fortement du stade de remplissage des fruits à la récolte et de la température ambiante. L'emploi d'emballages plastiques peut être envisagé mais sous certaines conditions ; il faut notamment conserver les fruits à température contrôlée et constante en évitant les à-coups thermiques.

Les fruits destinés à la maturation doivent dans tous les cas être séparés des fruits conservés pour une maturation différée ou pour être consommés à l'état vert, afin d'éviter un mûrissement accidentel. La maturation peut être soit naturelle, soit provoquée : apport gazeux d'éthylène (Azéthyl) comme précédemment indiqué, trempage dans une solution avec une concentration à 1/1 000 d'éthylène (Ethrel). Il est impératif de vérifier la législation en vigueur dans le pays pour connaître les produits autorisés.

La température de maturation ne doit pas excéder 24 °C. Au-delà des anomalies peuvent apparaître dans certaines conditions : bouilli vert, (pulpe se ramollissant sans évolution des sucres), fruit ne jaunissant pas (évolution normale de la pulpe mais dégradation insuffisante des chlorophylles).

Dans tous les cas, il faut porter une attention particulière dans la manipulation des fruits (chocs, empilements excessifs, stockage en plein soleil) afin de réduire les pourcentages de pertes, de la récolte à la mise en marché.

● La production actuelle et les perspectives

● Les évolutions récentes des zones de production

La production mondiale des bananes est de 88 millions de tonnes par an. Elle progresse lentement au rythme de 2 % environ par an. Cette production se répartit sur les cinq continents : un peu moins de 30 Mt en Amérique, Afrique et Asie, 1 Mt en Océanie et 500 000 t en Europe. Les cinq premiers pays producteurs sont, par ordre décroissant : l'Inde (11 Mt), l'Ouganda (10 Mt), le Brésil (5,6 Mt), l'Equateur (5,5 Mt) et la Colombie (5,3 Mt).

La production est presque exclusivement destinée aux consommations locales pour les trois premiers pays, principalement orientée vers le marché intérieur en Colombie alors qu'elle est majoritairement exportée pour l'Equateur. Ces productions reposent sur des variétés différentes selon ces pays : les bananes du groupe Cavendish sont les premières variétés produites en Inde et Equateur alors que ce sont les bananes à cuire et à bière (groupe *Lujugira*) en Ouganda, les bananes sucré-acidulées (groupes *Pome* et *Figue-Pomme*) au Brésil et les plantains en Colombie.

● L'organisation de la filière et ses perspectives

Le commerce international de banane dessert repose exclusivement sur les variétés de Cavendish. Il est évalué à près de 13 millions de tonnes/an. L'Equateur, le Costa Rica et la Colombie détiennent plus de 60 % de l'offre. Près de 60 % des échanges mondiaux sont le fait de trois sociétés transnationales : *Del Monte*, *Chiquita*, *Dole*. L'Union européenne et les Etats-Unis consomment chacun quatre millions de tonnes de banane.

Ces filières font intervenir de multiples opérateurs : transporteurs, importateurs, mûrisseurs, distributeurs. Dans un contexte actuel de surproduction et de forte compétition entre grandes zones de production, les perspectives d'évolution du marché de la banane sont liées à la réforme par l'Union européenne de l'Organisation commune des marchés et à la conformité de cette réglementation vis-à-vis de l'Organisation mondiale du commerce. En parallèle, la Colombie, l'Equateur et le Costa-Rica alimentent les filières en pleine croissance d'exportation de plantain (300 000 tonnes/an) vers les marchés nord-américains et européens. On y différencie les produits frais et les produits transformés : plantain pré-cuit, chips...

Les autres bananes (75 Mt de bananes desserts, plantains, autres bananes à cuire et à bière) sont traditionnellement auto-consommées mais tendent de plus en plus à approvisionner, en frais et transformées, les marchés urbains locaux en pleine croissance, avec des contraintes qualitatives spécifiques.

● **Les questions à la recherche**

À partir des problèmes actuels rencontrés par les acteurs de la filière, les thèmes majeurs de recherche concernent :

- > l'amélioration génétique : résistance aux maladies (dont problèmes de virus) et ravageurs, et qualité des fruits ;
- > les contraintes agri-environnementales à concilier avec les logiques de marché (culture d'exportation) ;
- > la protection intégrée contre les cercosporioses, les nématodes et le charançon ;
- > le maintien de la fertilité et la lutte contre l'érosion dans les écosystèmes fragiles (îles) ;
- > la qualité des bananes (incluant les traitements post-récolte) et la segmentation des marchés.

Les organismes de recherche

Tous ces thèmes sont abordés par différents organismes de recherche, en particulier :

- le CIRAD (département FLHOR), aux Antilles et en Afrique, en partenariat avec de nombreux pays producteurs ;
- le Centre régional de recherche sur bananiers et plantains (CRPB), basé au Cameroun ;
- l'ITA qui développe ses activités sur bananiers principalement en Afrique de l'Est ;
- l'Université catholique de Louvain (Belgique) ;
- la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) du Honduras ;
- CORPOICA en Colombie ;
- QDPI en Australie.

Un réseau international, dépendant de l'IPGRI, l'INIBAP, est chargé de la diffusion de nombreuses informations, de l'appui et de la coordination de certaines activités de recherche d'intérêt général. Un programme global sur bananiers, PROMUSA a été mis en place en 1997, dont le secrétariat a été confié à l'INIBAP.

LE LITCHI ET LE RAMBOUTAN

Litchi chiniensis Sonnerat (litchi) et *Nephelium Lappaceum* L (ramboutan)

Le litchi

Anglais : lychee ou litchi

Espagnol : litchi

Portugais : lichia

Famille des Sapindaceae

Le ramboutan

Anglais : rambutan

Espagnol : rambutan

Portugais : rambutan

● Les utilisations du litchi et du ramboutan

Le litchi et le ramboutan sont cultivés pour leurs fruits qui sont généralement consommés crus. Ils sont riches en vitamine C et en glucides. Les abeilles apprécient le nectar des fleurs du litchi, elles en font un miel de qualité exceptionnelle.

La dessiccation des litchis permet d'assurer une plus longue conservation. Cette technique constitue une véritable industrie en Chine. C'est la friandise la plus consommée lors du nouvel an chinois. Les litchis peuvent aussi se conserver dans l'alcool. Les noyaux grillés du ramboutan donnent une graisse entrant dans la fabrication des bougies (Asie).

● La plante et son environnement

● La plante

Le litchi est originaire de la Chine méridionale, probablement de la zone de Canton. Le ramboutan ou litchi chevelu est originaire de Malaisie. Le litchi s'est répandu dans toute l'Asie, l'Afrique de l'Est et du Sud, Madagascar, la Floride, Hawaï et l'Australie.

Le litchi est un arbre de 5 à 6 m de haut, pouvant parfois dépasser 10 m. Le tronc est fortement ramifié à la base. Le feuillage abondant est toujours vert et persistant et les feuilles sont de couleur vert foncé et luisantes sur la face supérieure, gris vert et pâles sur la face inférieure.

Le ramboutan, espèce essentiellement tropicale, se rencontre dans les zones tropicales des pays où le litchi a été introduit. C'est un arbre de plus de 20 m de haut, au tronc assez droit, bien dégagé, la couronne est dense, très branchue. Les feuilles alternes, pétiolées, brusquement pennées ou dépareillées possèdent deux ou quatre paires de folioles pubescentes à l'état jeune. Les folioles elliptiques sont vert jaunâtre, vert foncé ou glauque, peu ou légèrement luisantes sur la face supérieure, vert jaunâtre ou glauque, sombre sur la face inférieure.

Les deux espèces sont monoïques. Les fleurs peuvent être mâles, femelles ou bien hermaphrodites. Les grappes, lâches et pendantes, portent de deux à vingt fruits. De forme ovoïde, les fruits du litchi ont une peau dure et cassante, de couleur rouge et composée de nombreuses parties écailleuses. Le fruit du ramboutan est globuleux, ovoïde, de couleur allant du jaune au rose et au rouge. Le péricarpe est garni d'excroissances se terminant par une épine molle. La partie comestible des fruits est constituée par une pulpe blanche, translucide, juteuse et sucrée : c'est l'arille qui recouvre entièrement une grosse graine lisse et brunâtre.

Le litchi est habituellement reproduit par marcottage aérien d'arbres repérés pour la qualité de leur production ou par greffage de ces arbres sur des plants de semis. Selon la disponibilité en matériel végétal, on préférera les plants greffés qui bénéficient de l'enracinement puissant du porte-greffe (issu de semis de litchi à petites feuilles), assurant un bon ancrage dans le sol et une meilleure alimentation du plant tout en permettant, comme la marcotte, une mise à fruit précoce. La greffe en fente à l'anglaise compliquée est réalisée durant la saison chaude et humide, méthode recommandée également pour le ramboutan qui supporte mal le marcottage aérien.

Les variétés

Que ce soit pour le litchi ou le ramboutan, il existe un grand nombre de variétés. Les plus connues sont :

- litchi : Kwai May, Kwai May Pink, Groff, Bengal, Brewster, Muzaffarpur, Salathiel, Wai Chee, Haak Yip;
- ramboutan : Peng Th'ng Bee (R3), Ya Tow (R4), Khaw Tow Bak (R156), Sibabat.

● **L'écologie du litchi et du ramboutan**

Les deux espèces s'adaptent à de nombreux types de sols, avec une préférence pour ceux légèrement acides (pH compris entre 4,5 et 6,5), riches en matière organique, profonds et bien drainés. Les exigences climatiques varient selon les espèces : le ramboutan (litchi chevelu) est une essence tropicale et le litchi est une essence de climat tropical à saison froide marquée.

● **Le litchi**

C'est une espèce qui demande un climat chaud et humide. Il lui faut cependant une courte période de stress ou un climat sec et plus frais qui favorise l'induction florale. En été, la température moyenne optimum est de 25 à 30°C ; durant la saison froide le minimum est de 4 à 5°C. La température létale se situe à 0°C.

À Madagascar, les conditions optimales de culture du litchi se rencontrent sur la côte Est, où la pluviométrie est comprise entre 2 500 à 3 000 mm, la température maximale de 35°C, et la température minimale favorisant la floraison de 15°C. Les sols de la zone sont composés d'alluvions et sont donc frais et profonds.

● **Le ramboutan**

Il croît dans des zones proches de l'équateur. Les températures normales se situent au-dessus de 22°C.

La pluviosité minimale est de 1 250 mm et l'hygrométrie doit être comprise entre 80 et 90 % en saison humide. En Asie, le ramboutan est cultivé dans les zones à forte pluviosité (2 000 à 5 000 mm/an) et à des températures comprises entre 22 et 35°C.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

Dans de nombreux pays le litchi et le ramboutan sont des arbres de cueillette et, de ce fait, ne reçoivent aucun soin. La tendance depuis quelques années est la culture en verger. Ce type de culture se rencontre en Inde (vergers de plus de 200 ha), en Chine, en Australie, en Afrique du Sud et de l'Est, à la Réunion et à l'île Maurice. À l'heure actuelle, à Madagascar, premier exportateur mondial sur l'Europe, la production repose encore sur la cueillette. La plantation de vergers a débuté en 1997 et les effets ne se feront sentir que dans une dizaine d'années.

Les variétés les plus rencontrés sont Kwai May ou Mauritius pour la zone Océan Indien, Shahi (Chine) Muzaffarpur, Calcutta pour l'Inde, Salathiel, Wai Chee, Haak Yip pour l'Australie. En Inde, Chine et Australie, les vergers sont réalisés avec des plants greffés, tandis que dans la zone de l'Océan Indien les vergers sont plantés avec des plants issus de marcottes aériennes.

● **L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement**

● **La densité de plantation**

Le litchi est un arbre à grand développement. Dans le contexte actuel, les distances de plantation sont de 10 x 10 m ou 8 x 10 m, soit une densité de 100 ou 125 arbres à l'hectare. Cependant, pour une culture plus intensive, on peut envisager des plantations à 8 x 6 (208 arbres/ha) ou 8 x 5 (250 arbres/ha). Dans ce cas, on utilisera de préférence les plants greffés qui conviennent davantage à la haute densité. Le verger pourra être éclairci, quand les arbres commenceront à se gêner, en rabattant progressivement puis, en l'absence de méthode de taille efficace, en supprimant un arbre sur deux sur la ligne.

● **La plantation**

Il faut planter selon un tracé strict, les arbres devant être parfaitement alignés dans chaque sens et selon des perpendiculaires. Si la culture n'est pas mécanisée, on creuse à l'emplacement de chaque plant un trou de 0,8 x 0,8 x 0,8 m (500 l). On mélange à la terre extraite environ 2 kg de sulfate de potassium, 2 kg de phosphate naturel et 25 à 30 kg de fumier bien décomposé. On rebouche le trou avec le mélange. Par suite des apports de fumier et du foisonnement de la terre, celle-ci forme une légère butte. Les plants seront mis en place sur la butte et tuteurés.

Lorsqu'il s'agit de plants greffés, la terre de la butte ne doit en aucun cas dépasser le niveau du collet du porte-greffe. À la plantation, les marcottes sont plantées, inclinées dans le sens contraire du vent et tuteurées. Elles offrent ainsi moins de prise au vent et développent un meilleur enracinement. Les plants sont, dans tous les cas, abondamment arrosés après la plantation.

● La taille de formation

Comme pour les autres espèces fruitières, on cherche à former l'arbre sur un tronc unique d'où partent des charpentières étagées et réparties régulièrement.

● L'entretien du sol

Pendant les premières années, le sol doit être nu sous les frondaisons. La végétation spontanée des interlignes doit être maintenue rase. Eventuellement, des cultures intercalaires à cycle court et à faible développement peuvent y être implantées pendant les trois premières années, si elles sont conduites de façon à ne pas gêner les arbres.

● La fertilisation

Il est nécessaire de permettre une bonne poussée végétative après la récolte et de répondre aux besoins liés au grossissement et à la maturation des fruits. Après la période de croissance végétative active qui dure environ quatre mois, ces espèces ont besoin d'une courte période de stress (nutritionnel, hydrique, thermique ou autre) pour permettre l'induction florale.

Tableau 13. Quantités d'éléments à appliquer par arbre (en grammes)

Année	Azote	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
1 an	50	10	40	15
2 ans	80	10	60	20
3 ans	140	30	105	40
4 ans	210	45	160	55
5 ans	230	65	265	80
6 ans	380	85	345	105
7 ans	470	105	430	125
8 ans	570	125	520	155
9 ans	670	150	610	180
10 ans et +	920	210	840	240

Les deux espèces sont sensibles aux carences en zinc.

● L'irrigation

La quantité d'eau disponible doit être d'au moins 200 mm/mois. Si la pluviosité est insuffisante, il est indispensable d'irriguer les arbres durant la phase de croissance végétative (après la récolte) et, dès l'émergence des panicules, pendant toute la phase de croissance et de maturation du fruit. Un stress hydrique durant la nouaison entraîne une chute importante des fruits.

● Les ennemis et les maladies

Les principaux ravageurs sont :

- > *Eriophyes*, acarien provoquant l'érinose : traitement avec un acaricide ;
- > une cochenille (*Parlatoria*) : traitement au parathion ;
- > une punaise (*Tessaratoma papillosa*) : traitement insecticide.

● **La récolte et les opérations post-récolte**

● **Les dates de récolte**

Les litchis vivent très longtemps (plusieurs siècles). Les arbres adultes donnent de 100 à 500 kg de fruits. À Java, la floraison a lieu de juillet à septembre, la récolte de novembre à février. En Inde, la floraison a lieu entre février et mars et la récolte entre mai et juillet. En Chine, suivant les zones de production, la floraison s'étale de mars à avril et la récolte de début mai à fin juillet. À Madagascar et à la Réunion, la récolte se fait en novembre-décembre. La récolte du litchi dans la région de Tamatave s'effectue dans un temps très court (environ trois semaines). Les arbres sont dispersés et souvent éloignés d'un centre de collecte. Beaucoup de fruits ne sont pas récoltés.

● **La conservation et les traitements post-récolte**

Il faut prolonger la conservation du fruit pour permettre sa commercialisation dans un laps de temps plus échelonné. Deux conditions sont requises pour la conservation de la couleur de la peau et de la qualité gustative de la chair : une ambiance humide et le maintien du fruit à une température basse.

Le traitement à l'anhydride sulfureux permet de prolonger, pendant plusieurs semaines, la durée de vie du produit. Il est surtout utilisé pour l'exportation depuis que la France a délivré une autorisation provisoire de soufrage en 1987. Le seuil de résidus soufrés dans la pulpe à ne pas dépasser est de 10 mg/kg. Cependant, bien qu'on ait montré que la teneur en résidus évoluait très vite après le soufrage (< 20 mg après 24 h), celle-ci est très supérieure aux 10 mg tolérés juste après le soufrage.

Le soufre a une triple action sur le fruit :

- > c'est un fongicide qui empêche le développement de champignons ;
- > c'est un anti-oxydant qui empêche l'oxydation des pigments anthocyaniques ;
- > il permet à la coque de garder sa souplesse.

Après le traitement, les fruits sont totalement décolorés et deviennent jaunes. Ils gardent cette couleur aussi longtemps qu'ils sont maintenus au froid et dans l'obscurité. Placés à la lumière ou à la chaleur, ils retrouvent progressivement une couleur rouge, voire rose-ocre. Ce traitement est applicable à des fruits sains, mûrs, sans tache, sans piqûre d'insectes, sans trace d'humidité sur la coque. Il convient à des fruits égrenés ou en grappes. La dose à utiliser est de 625 g de soufre fleur par tonne de fruits. Le soufre brûle en présence des fruits dans une enceinte close pendant trente à quarante minutes. Après le traitement, les fruits sont à nouveau triés et conditionnés en barquette plastique de 500 g ou dans des cartons de 5 kg pour l'expédition aérienne.

● **La production actuelle et le marché**

Le litchi est devenu un produit de masse, largement distribué par les supermarchés européens aux alentours de Noël. Les principales variétés rencontrées sur les marchés sont Mauritius et Kwai mi. Les fruits sont expédiés principalement par bateau. Facile à produire, à transporter, à consommer, de couleur et de taille attractives, le litchi est sans contexte un fruit d'avenir.

Tableau 14. Importations de litchis en tonnes (1998)

	France	Belgique, Luxembourg	Pays Bas	Allemagne	Italie	UK	Autres	Total
Total extra UE dont	10 298	834	683	74	31	921	36	12 877
Madagascar	861	20	337	0	0	48	0	10 266
Afrique du Sud	90	802	125	38	15	530	24	1624
Israël	225	5	47	3	7	6	10	303
Thaïlande	14	1	88	17	2	154	1	277
Maurice	68	5	21	10	6	0	0	110

Sources EUROSTAT, FRUITROP.

Les fruits de l'hémisphère sud approvisionnent le marché de novembre à mars et ceux de l'hémisphère nord alimentent la consommation de mai à août.

LE MANGUIER

Mangifera indica L.

Anglais : mango

Espagnol : mango

Portugais : mangeira

Famille des Anacardiaceae

● Les utilisations du manguier

Le fruit frais mature est très apprécié pour ses qualités gustatives. C'est une source de fibres pour la diète alimentaire ainsi que de vitamines A et C. Verte, la mangue fait l'objet de préparations alimentaires (pickles...). La mangue peut être transformée en tranches au sirop, en purée ou en jus.

● La plante et son environnement

● La plante

● Son origine et son écologie

Les manguiers sont originaires de la région indo-birmane et se seraient diversifiés dans deux zones d'Asie du Sud-Est :

- > l'une en Inde, dans des régions plus sèches et fraîches, en donnant des variétés monoembryonnées à épiderme plus ou moins coloré, sensibles à l'antracnose ;
- > l'autre en Birmanie, Thaïlande, Indonésie et dans le sud de la péninsule indochinoise, régions plus chaudes et humides, en donnant des variétés polyembryonnées, à épiderme verdâtre peu coloré, présentant une relative résistance à l'antracnose.

Depuis un siècle, de nombreuses hybridations ont été réalisées en Floride, à partir de variétés indiennes. Cette région est considérée comme un centre secondaire de diversification. Dans les régions d'origine, les types sauvages avaient pour habitat les forêts tropicales de moyenne altitude. Dans ces situations, la fructification est aléatoire : floraison peu intense, attaques cryptogamiques sur fleurs et jeunes fruits.

La production de mangues s'est bien implantée dans des zones subtropicales d'Asie, en Amérique et en Afrique. Elle a gagné les limites extrêmes de sa zone de culture potentielle (36° latitude Nord et 33° latitude Sud). Les températures basses limitent son extension. Dans les conditions subtropicales, des alternances de températures de 20°C le jour à 15°C ou un peu moins la nuit, ainsi qu'une saison sèche marquée, permettent d'induire une bonne floraison. Les manguiers préfèrent les sols sablo-limoneux à limoneux, à pH légèrement acide ou neutre. Ils supportent les sols argileux.

● **La morphologie et la biologie du manguiers**

Les manguiers sont des arbres à fort développement (10 à 35 m de haut) et à feuillage persistant. Les inflorescences, en forme de grappes, sont portées en position terminale des rameaux. Elles sont constituées de fleurs mâles et de fleurs hermaphrodites. Chaque inflorescence porte plusieurs milliers de fleurs qui, après fécondation, donneront au mieux quelques fruits. La pollinisation est assurée par les insectes : mouches, thrips... Les taux moyens de nouaison sont très faibles, de l'ordre de 1/10000.

Le fruit est une drupe. L'épiderme peu épais présente des lenticelles. Suivant les variétés, sa coloration est variable : verte, jaune, orange, rouge violacé, uniforme ou en mélange. À maturité, la chair se colore en jaune orangé. Elle est parfois ferme mais le plus souvent juteuse, et renferme des fibres plus ou moins abondantes au voisinage du noyau. Les types sauvages présentent un goût prononcé de térébenthine.

La graine aplatie est protégée par un tégument lignifié. Elle est constituée d'un embryon zygotique (issu d'une fécondation et au patrimoine génétique différent de la plante mère) chez les variétés mono-embryonnées, d'un ou plusieurs embryons nucellaires (issus des tissus du nucelle de la plante mère sans qu'il y ait eu recombinaison génétique) chez les variétés poly-embryonnées. Le pouvoir germinatif de la graine est limité à quelques semaines.

Tableau 15. Principaux cultivars et obtentions récentes

Nom du cultivar	Région d'origine	Caractéristiques
Alphonso	Inde	Fruit de 225 à 325 g, jaune, oblong, monoembryonné, parfumé sans fibre, production alternante
Amélie	Afrique de l'Ouest	Fruit de 300 à 600 g, arrondi, fruit vert-jaune à maturité, monoembryonné, chair fondante très savoureuse, sans fibre
Améliorée du Cameroun	Semis de Hindi Be Sennar d'Égypte	Fruit de 250 à 300 g, jaune verdâtre, allongé à base arrondie, polyembryonné, chair fondante fruitée, sans fibre, assez bonne adaptation aux climats tropicaux humides des zones côtières
Beneshan	Inde	Fruit jaune, ovale oblique, gros sans fibre, monoembryonné, doux et bonne qualité, bonne productivité
Cambodiana	Vietnam	Fruit de 220 à 340 g, vert jaunâtre, oblong, polyembryonné, légèrement fibreux, sucré à arôme plaisant
Carabao	Philippines	Fruit de 270 à 440 g, verdâtre, allongé et mince, polyembryonné, sans fibre, excellente qualité gustative. Possède une bonne résistance à la maladie des taches noire au Queensland, production alternante qui peut être régularisée avec le nitrate de potasse
Dashehari	Inde du nord	Fruit jaune oblong, monoembryonné, sans fibre, excellente qualité gustative, production importante et régulière
Haden	Floride	Une des premières sélections Floridiennes, 510 à 680 g, ovale à base arrondie, monoembryonné, bonne qualité mais fibreux, production irrégulière
Irwin	Floride	Fruit jaune taché de rouge, 340 à 450 g, ovale à base arrondie, sans fibre bonne qualité gustative, monoembryonné, production importante et régulière
Julie	Antilles	Fruit jaune verdâtre, arrondi, 200 à 325 g, bonne qualité appréciée aux Antilles, monoembryonné, production régulière mais faible
Keitt	Floride	Fruit jaune verdâtre taché de rouge, ovale à base arrondie, 510 à 2000 g, peu fibreux, excellente qualité gustative, monoembryonné, production importante
Kent	Floride	Fruit jaune verdâtre taché de rouge, 600 à 750 g, ovale à base arrondie, peu fibreux, excellente qualité gustative, monoembryonné, alternant, mieux adapté au climat aride
Nam Doc Mai	Thaïlande	Fruit vert jaunâtre, 340 à 580 g, allongé, mince et sigmoïde, non fibreux, excellente qualité, polyembryonné, produit régulièrement et parfois plusieurs fois par saison
Neelum	Inde	Fruit jaune clair, 230 à 300 g, ovale avec base aplatie ou arrondie, chair douce et juteuse sans fibre, monoembryonné, forte production régulière
Tommy Atkins	Floride	Fruit jaune orangé taché de rouge, ovale à oblong à base arrondie, 450 à 700 g, chair ferme moyennement juteuse, peu fibreux, monoembryonné, qualité gustative moyenne, productive
Palmer	Floride	Fruit jaune orangé taché de rouge, 510 à 850 g, oblong à base arrondie, chair ferme, bonne qualité, monoembryonné, production régulière

Actuellement, les programmes de création variétale recherchent :

- > la régularité de production avec des géniteurs comme Neelum en Inde subtropicale et Prior en Inde tropicale ;
- > la résistance à la bactériose avec comme géniteur Sensation en Afrique du Sud (plusieurs obtentions dont Heidi) ;
- > la tolérance au sol calcaire et au sol salé : sélection du porte-greffe 13/1 en Israël ; d'autres travaux sont en cours.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

Le manguier est cultivé comme arbre isolé ou en vergers homogènes plus denses. En raison de son fort développement, il est rare que les densités de plantation soient supérieures à 200 pieds/ha. Seules les localisations subtropicales extrêmes autorisent 400 plants/ha.

● **L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement**

● **La propagation des manguiers**

Les variétés monoembryonnées ne peuvent être reproduites fidèlement que par greffage. Les variétés polyembryonnées peuvent être reproduites par semis, mais une dérive du type est toujours possible. Le plant greffé est moins vigoureux et entre en production deux à trois ans plus tôt. Aussi ce mode de multiplication est recommandé. Il n'existe que très peu de porte-greffes sélectionnés, généralement ils sont choisis parmi les variétés locales poly-embryonnées pour obtenir des plants homogènes, si possible peu vigoureux (Sabre en Afrique du Sud, Tête de chat en Côte d'Ivoire, Maison Rouge à la Réunion....). La graine est mise en germe puis repiquée dans un sac plastique contenant un mélange terreux riche et drainant. Le plant est greffé en fente de côté ou à l'anglaise. Sous les tropiques, les plants sont prêts en un an. La station CIRAD-FLHOR de Vieux Habitants en Guadeloupe dispose, en zone saine, d'un important germoplasme.

● **La plantation**

Les densités de plantation varient en fonction du climat et de la vigueur de l'arbre : de 100 arbres/ha pour Kensington Pride, à 400 arbres/ha pour Keitt en passant par des valeurs intermédiaires de 220 arbres/ha pour Kent, Irwin, Palmer, Nam Doc Mai. Le futur verger est aménagé pour obtenir une bonne évacuation des eaux de ruissellement (nivellement léger, ados, fossés de drainage). Un réseau de brise-vent est implanté si nécessaire. La structure du sol est améliorée avant plantation avec des outils à dents (si possible sur 0,8 m à 1 m). Une fumure et des amendements sont apportés suivant les recommandations d'une analyse de sol.

Après piquetage, les jeunes scions sont plantés, en début de saison des pluies, dans des trous individuels préalablement creusés (0,6 m de côté), en veillant à positionner le collet au sommet de la butte de plantation. Une culture intercalaire peut être envisagée les premières années. Dès l'entrée en production, les impératifs du programme de traitements phytosanitaires rendent cette option difficile.

● **L'entretien**

La taille de formation a pour objet d'obtenir la structuration de l'arbre en trois à cinq branches charpentières insérées à différents niveaux du tronc et régulièrement réparties. Ceci est obtenu en rabattant l'axe principal au niveau d'une unité de croissance vigoureuse en partie décapitée.

Les premières années de plantation, une fumure est régulièrement épandue sous la frondaison en quatre ou cinq apports sous forme d'engrais équilibré NPK. Avec l'entrée en fructification, la proportion de potasse est augmentée et celle de phosphore diminuée dans des proportions ($N = 1 - P_2O_5 = 0,5 - K_2O = 1,5$). La quantité de fumure augmente progressivement chaque année pour atteindre un niveau de 200 kg de N par ha à dix ans. Sur un verger adulte, elle est épandue en trois fois : après la récolte, avant la floraison, au début du grossissement du fruit (jamais en fin).

Les manguiers sont souvent cultivés en sec. L'irrigation, utilisée dans certaines zones sèches de culture plus intensive, est souvent à l'origine d'une augmentation sensible des rendements. Dans la pratique, il convient de maintenir un stress hydrique de deux à trois mois avant la floraison. Les apports d'eau ne reprennent, si nécessaire, qu'en fin de floraison et jusqu'au début de la récolte. Pour un verger adulte désherbé, les apports se font à un niveau variant entre 0,5 et 0,6 ETP.

Le verger peut être enherbé ou désherbé chimiquement dans les situations les plus sèches. En Asie tropicale, l'induction florale artificielle est obtenue par des pulvérisations foliaires de nitrate de potasse (2 à 4 %) sur rameaux matures en repos végétatif.

● La protection sanitaire

La maladie des taches noires ou bactériose du manguiier (*Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae*) est classée maladie de quarantaine. Toute introduction à partir d'une zone infestée (Asie, Océan Indien, Australie, Brésil...) est proscrite.

Tableau 16. Traitement des maladies et ravageurs

Maladie	Organes atteints	Traitements	Epoque
Oidium	Inflorescences	soufre, dinocap, dichlofluanide, chinométhionate	Du débourrement de l'inflorescence à la chute des pétales
Anthraxnose	Feuilles et fleurs Fruits	captane, manébe, mancozèbe	La floraison 15 jours avant récolte
Bactériose	Feuilles et fruits	hydroxyde de cuivre	Saison chaude et humide
Cochenilles	Rameaux, fruits	huiles blanches + organo-phosphoré	Après taille ou à l'apparition sur fruits
Thrips	Inflorescences	acrinathrine, lambda-cyhalothrine	De l'élongation de l'inflorescence à la nouaison
Cécidomyie des fleurs	Inflorescences	phosalone, endosulfan	Début de floraison puis périodiquement si attaques
Charançon du noyau	Noyau	fenthion diazinon	Pendant l'oviposition Base des troncs
Mouches des fruits	Fruits	fenthion, malathion, trichlorfon seuls ou + attractif alimentaire pour traitement par tache	Début maturité des premiers fruits Emploi de pièges pour traitements localisés

● La récolte et les opérations post-récolte

La détermination du point de coupe des mangues est complexe. Pour que la maturation se déroule normalement, le fruit doit avoir atteint un degré de maturité suffisant, sans être trop mûr. Les critères retenus portent souvent sur la coloration de la chair à proximité du noyau (un tiers orangé) et le gonflement des épaules du fruit.

Le fruit est récolté avec un pédoncule suffisamment long pour éviter l'exsudation de latex sur l'épiderme. Le pédoncule est arasé quelques minutes plus tard et les fruits mis en caisse, cicatrice orientée vers le bas.

Les fruits conservés à température ambiante seront rapidement dirigés vers les marchés de proximité. Dans le cas d'une exportation hors zone de production, les fruits seront conservés à température plus basse, rarement inférieure à 11-13°C (suivant les variétés). C'est lors du passage dans les stations de conditionnement que sont réalisées les opérations de traitements contre l'antracnose et les mouches des fruits (traitement à l'eau chaude, bains de fongicides...).

● **La production actuelle et les perspectives**

● **Les principaux producteurs**

En 1999, la production mondiale a dépassé les 23 millions de tonnes. Plus des trois quart proviennent d'Asie du Sud-Est (Inde 12 Mt, Chine 2,2 Mt, Thaïlande 1,3 Mt, Philippines 0,95 Mt, Pakistan 0,9 Mt), 13 % d'Amérique latine (Mexique 1,5 Mt, Brésil 0,6 Mt) et 9 % d'Afrique.

● **Les orientations de la recherche**

Les préoccupations des chercheurs sont communes à de nombreux pays :

- > la maîtrise de la floraison et de sa désynchronisation, de l'alternance de production ;
- > la conception de nouveaux systèmes de conduite de verger : taille de formation, porte-greffe... ;
- > le contrôle des maladies non curables comme la bactériose : épidémiologie et variétés tolérantes ;
- > l'amélioration de la qualité des mangues par une meilleure détermination du stade optimal de récolte et l'amélioration des techniques de conservation.

Les organismes de recherche

Certains pays disposent d'une recherche bien structurée :

- Afrique du Sud (ARC-Itsc Nelspruit et HortResearch Tzaneen) ;
- Australie (CSIRO Plant Industry et Queensland horticultural Institute, Maroochy HRS) ;
- Brésil (EMBRAPA, Mandioca et Fruticultura Cruz das Almas) ;
- France (CIRAD FLHOR Montpellier, Réunion, Guadeloupe) ;
- Philippines (University College of Agriculture, Los Banos, Laguna) ;
- Thaïlande (Departement of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok) ;
- Etats-Unis (University of Florida, IFAS, Tropical Research and Education Center, Homestead).

LE PALMIER DATTIER

Phœnix dactylifera L.

Anglais : date palm

Espagnol : palmera datilera

Portugais : tamareira

Monocotylédone - Famille des *Arecaceae* (anciennement *Palmaceae*)

● Les utilisations du palmier dattier

Le palmier dattier (*Phœnix dactylifera* L.) fait partie des premiers arbres fruitiers cultivés. Il est associé à des systèmes agricoles très diversifiés qui varient de la monoculture fruitière basée sur la production intensive de dattes de qualité à l'agriculture d'oasis où le dattier est cultivé pour son caractère multiusage et pour les associations culturelles qu'il autorise.

Toutes les parties du palmier peuvent être utilisées et sa présence est un facteur de maintien des populations dans les sites les plus isolés :

- > *les dattes* représentent la principale production du dattier et elles sont, sans nul doute, ce qui justifie l'intérêt porté à cette espèce par les populations. La datte est un aliment de grande valeur énergétique : 1 kg de pulpe de dattes mûres représente 3000 calories. Les dattes peuvent être consommées telles quelles ou transformées (pâtes, confiture, farine, alcool...). Les graines servent à l'engraissement des animaux : 1 kg de graines concassées = 1 unité fourragère ;
- > *les palmes* sont utilisées pour la confection de cases, de toitures et de terrasses, pour clôturer des parcelles et pour la réalisation de brise-vent pour lutter contre l'ensablement ;
- > *les folioles* sont utilisées pour les travaux de sparterie et de vannerie (confection de nattes, de paniers, de chapeaux, etc.) ;
- > *les rachis*, après défoliation des palmes sèches de grande taille, sont utilisés pour la confection des armatures des cases circulaires, pour la réalisation de mobilier ou de portes. Ils peuvent remplacer les branches de *Calotropis procera* pour le plafonnage des cases réalisées en briques de terre séchées. Ils sont utilisés pour alimenter les feux dans les secteurs pauvres en bois de chauffage ;
- > *la gaine fibreuse* est utilisée pour la confection de coussinets de protection pour le dos des animaux porteurs et les selles des méharistes et pour la fabrication de ficelles et de cordes ;
- > *le tronc du dattier* peut être utilisé comme bois d'œuvre pour la construction des charpentes de cases. Evidé, il est utilisé comme canal d'irrigation ;
- > *le cœur ou bourgeon terminal* est consommé cru lorsqu'un arbre est abattu ;
- > *la sève*, récoltée dans une calebasse, par écoulement le long d'un bâton planté dans la partie apicale de l'arbre, constitue, lorsqu'elle est fraîche, une boisson rappelant le lait de coco.

● **La plante et son environnement**

● **L'aire de répartition**

Le palmier dattier est souvent associé au milieu désertique. Il est considéré comme le végétal typique du paysage saharien classique. Cependant, on ne le rencontre que là où des ressources hydriques permanentes existent (oasis et bordure d'oued par exemple). De plus, sa localisation n'est pas exclusivement limitée aux zones désertiques puisqu'on le rencontre dans des zones à climat plus froid et plus humide, comme l'Afrique de l'Ouest ou l'Europe méridionale.

L'aptitude de ce végétal à se développer dans une gamme de climats comprise entre le méditerranéen et le désertique a conduit à une progression régulière de son aire de répartition puis de sa culture.

À l'heure actuelle, l'aire de distribution du palmier dattier se présente sous deux formes : une aire principale couvrant le pourtour méditerranéen, l'Afrique du Nord avec une extension jusqu'au sud du Sahara en zone intertropicale et la péninsule arabique, et des sites dispersés dans le monde, le plus souvent caractérisés par des sujets isolés ou des petits peuplements (par exemple, en Californie et en Australie).

● **La description botanique**

● **Le tronc (ou stipe)**

Le dattier est un arbre monopodial à ramification souterraine. Le tronc est vertical, cylindrique, quelquefois tronconique. Le diamètre et la taille du tronc varient suivant les conditions culturales et le cultivar. Le diamètre peut atteindre 100 cm et la hauteur 35 m. Un dattier adulte moyen a un tronc de 60 cm de diamètre et de 8 m de hauteur. La durée de vie d'un dattier est estimée à cent ans.

Chez les sujets jeunes, le tronc est couvert par les bases des pétioles des anciennes palmes et la bourre fibreuse qui leur est associée. Cependant, ces repères disparaissent avec le vieillissement. Chez les sujets âgés, le tronc est nu et la bourre fibreuse n'est visible que dans la partie terminale.

La croissance d'un tronc de dattier est assurée par un unique méristème terminal dont l'activité végétative est indéfinie. Il émet à sa base des rejets qui servent à le multiplier végétativement. Chez certains dattiers, des bourgeons axillaires situés le long du tronc peuvent évoluer vers la production de ramifications aériennes (gourmands).

● **Le système foliaire**

Le palmier produit trois types de feuilles au cours de sa vie : les feuilles juvéniles, les feuilles semi-juvéniles et les feuilles adultes ou palmes. Les palmes (feuilles composées pennées) apparaissent, suivant l'âge et les conditions de milieu, avec une fréquence variant de dix à vingt par an, parfois trente. Elles peuvent rester actives entre trois et sept années. Un palmier adulte possède trente à cent quarante palmes actives. La taille des palmes varie suivant la vigueur de la variété et les conditions de culture. Elles peuvent atteindre 6 m. Elles développent à leur base une gaine fibreuse (ou fibrillum) qui entoure le tronc du palmier.

On distingue quatre parties dans une palme adulte :

- > la partie pétiolaire, très large, terminée par une gaine qui ceinture le tronc ;
- > le rachis, le long duquel se positionnent les folioles ou pennes et les épines ;
- > la partie épineuse, qui occupe la base de la palme. Les épines rigides et effilées sont isolées ou groupées par deux ou trois ;
- > la partie pennée, composant la majeure partie de la palme, est formée de folioles disposées régulièrement en position oblique le long du rachis.

La taille des folioles varie suivant leur localisation sur le rachis, les apicales étant les plus courtes. L'épiderme, recouvert d'un enduit cireux sur les deux faces, est dépourvu de poils absorbants.

● **Le système racinaire**

Le système racinaire est fasciculé. Les racines sont dépourvues de poils absorbants et prennent naissance à partir d'une zone génératrice de forme concave qui devient volumineuse et émerge au-dessus du sol. Le dattier a la particularité de posséder des racines respiratoires ou pneumatodes, qui joueraient un rôle dans l'adaptation aux zones très humides et dans la résistance aux périodes d'immersion.

● **Les inflorescences et les fleurs**

Comme tous les *Phoenix* le dattier est dioïque, les inflorescences mâles et femelles sont donc portées par des sujets différents.

Les inflorescences sont protégées jusqu'à leur maturité (développement complet des organes reproducteurs) par une préfeuille ou spathe. Cette préfeuille est une enveloppe fibreuse très rigide. Sa forme constitue l'élément le plus précoce dans la distinction mâle/femelle : les spathe mâles sont courtes et renflées et les spathe femelles plus allongées, plus longues et plus fines.

L'inflorescence mâle possède un pédoncule dressé, long de 40 à 50 cm, lisse et aplati, se terminant par cent à cent cinquante axes floraux. Ils sont courts (rarement d'une taille supérieure à 15 cm) et portent chacun de vingt à cinquante fleurs odorantes.

L'inflorescence femelle possède un pédoncule dont la taille varie de 15 à 120 cm. Il est lisse et aplati et se termine par 20 à 150 axes floraux. Ces axes floraux, glabres et plus ou moins sinueux, dont la longueur varie de 10 à 100 cm, portent 800 à 5 000 petites fleurs globuleuses inodores.

Les fleurs sont unisexuées et sessiles. Elles sont positionnées en alternance sur un même plan le long d'axes floraux. Les fleurs mâles sont de couleur ivoire et leur forme est légèrement allongée. Elles mesurent entre 7 et 8 mm de hauteur. Les fleurs femelles sont de forme ovoïde et mesurent entre 3 et 5 mm de hauteur.

● **Le fruit**

Les stigmates des fleurs femelles sont réceptifs dès l'éclatement de la spathe (optimum de réceptivité quatre jours après l'éclatement de la spathe). Après fécondation³, un seul carpelle se développe sur les trois. Le fruit ou datte qui se développe est une baie contenant une graine. Son poids varie de 2 à 60 g, sa longueur de 18 à 110 mm et sa largeur de 8 à 32 mm.

³ La fécondation naturelle est de type anémogame, rarement entomogame.

Lorsque la pollinisation n'a pas eu lieu, les carpelles peuvent cependant se développer et donner des fruits parthénocarpiques sans graines. La forme de ces dattes diffère de celle du fruit normal (elles sont généralement plus courtes et plus fines), et elles n'arrivent que très rarement à maturité. Le nombre de dattes et de régimes produits serait en relation avec le nombre de palmes actives.

● La floraison et la fructification

En zone saharo-méditerranéenne, la floraison du dattier ne se déclenche qu'une fois par an. Le début et la durée de la floraison sont liés à la température ainsi qu'aux cultivars. D'une manière générale, plus la température hivernale est basse, plus la floraison est tardive et échelonnée dans le temps. En Afrique du Nord, la période de floraison se situe pendant les mois de février, mars et avril.

En zone sahélienne, la floraison peut, dans certaines conditions, se déclencher deux fois par an. Le cycle supplémentaire s'observe après la saison des pluies et le second cycle, qui intéresse la majorité du peuplement, s'observe pendant la saison fraîche. Cette double floraison confère un intérêt pour le développement de cette culture en zone intertropicale car il garantit deux récoltes annuelles de dattes.

La durée de la fructification varie suivant les cultivars et les conditions climatiques du site. Comprise entre 120 et 240 jours, cette période est d'autant plus courte que la température est élevée et que l'hygrométrie est basse. Dans les palmeraies d'Afrique du Nord, la durée de la fructification est en moyenne de 180 jours. Dans les palmeraies sahéliennes, cette durée peut atteindre 240 jours.

● Les variétés et les cultivars

Le dattier étant dioïque, il n'existe pas à proprement parler de variétés dont les caractéristiques génétiques soient transmissibles intégralement par voie sexuée. Seule la multiplication végétative (par rejets ou vitro-plants) permet de conserver les caractéristiques génétiques du pied-mère (sexe, aptitude, qualité du fruit, etc.) et permet d'aboutir à la notion de variétés. On peut citer comme exemple : Deglet Nour (Algérie), Bou Faggous (Maroc), Sahidi (Trah), Siwi (Egypte).

● L'écologie du palmier dattier

Le palmier doit bénéficier, pour donner une production normale :

- > d'un climat chaud, sec et ensoleillé. Les palmes gèlent à - 9°C. La limite basse de végétation est de +7°C et la limite haute de + 45°C. Toutefois à + 65°C le palmier ne semble pas souffrir s'il est correctement alimenté en eau. Le maximum d'intensité végétative s'observe pour des températures comprises entre 32° à 38°C.
- > d'une alimentation en eau suffisante, dont le volume dépend de la situation géoclimatique et de la nature de l'eau. Le chiffre de base est de 25 000 m³/ha/an plus ou moins 15 000 m³. Par exemple, pour des palmiers bénéficiant d'une saison de pluies de 450 mm et d'une nappe à 5 m de profondeur, on indique des besoins en eau de 15 000 m³/ha ;
- > d'un sol neutre, profond, bien drainé, assez riche ou susceptible d'être fertilisé. La qualité éventuelle des sols des palmeraies est la perméabilité, d'autant plus importante lorsque ceux-ci sont irrigués avec des eaux saumâtres ou que le sol est salé.

● **Les systèmes de culture et les itinéraires techniques**

● **Le modèle oasien**

Le modèle oasien se définit, d'une manière générale, comme une forme d'occupation de l'espace en milieu désertique et semi-désertique qui se caractérise par une mobilisation ponctuelle de ressources en eau et par la formation d'écosystèmes particuliers résultant de l'activité de l'homme. Les oasis qui s'étendent de l'Arabie au Sahara sont façonnées autour d'une colonisation végétale spécifique, celle du palmier dattier. Elles ont souvent servi de modèle pour la mise en valeur, par des palmeraies, de sites disposant de ressources hydriques permanentes et accessibles.

● **La multiplication du palmier dattier**

Trois méthodes de multiplication peuvent être utilisées pour la mise en place de nouvelles surfaces de culture ou pour l'extension de palmeraies.

● **La multiplication par semis**

Son utilisation a été à l'origine des peuplements intertropicaux et elle est encore utilisée lorsque les rejets sont absents. La multiplication par graine ne permet pas de contrôler le sexe du dattier et elle introduit une importante diversité génétique dans le peuplement. De plus, la durée entre le semis et la première fructification, qui permet de déterminer le sexe du dattier, peut atteindre dix ans, ce qui rend cette technique consommatrice de temps et d'espace pour des résultats incertains. Elle apparaît ainsi comme peu compatible avec une culture intensive du dattier.

● **La multiplication par rejet**

Cette méthode de propagation permet de conserver les aptitudes du pied mère et les caractéristiques de ses fruits. Cette technique de multiplication est donc considérée comme la plus stable et la plus efficace par les producteurs.

Les rejets sont prélevés à la base du tronc lorsque leur poids est compris entre 12 et 25 kg. La séparation du rejet de son pied mère (ou sevrage) est l'opération qui conditionne sa reprise. Cette opération s'effectue à l'aide d'un outil tranchant en pratiquant une coupe nette au niveau de la zone de liaison. Puis on pratique l'habillage du rejet, avant sa plantation, par la taille des racines et la réduction de la surface foliaire.

● **La multiplication *in vitro***

Deux méthodes de micropropagation du palmier dattier sont actuellement connues : l'organogénèse qui repose sur la capacité de bourgeonnement de bourgeons axillaires et l'embryogénèse somatique. Seule la première technique est actuellement opérationnelle : les vitro-plants produits par cette technique ont donné des dattes conformes à celles du palmier *mère*. En revanche, l'autre méthode fait encore l'objet de recherches, en particulier en raison du non respect strict de la conformité auquel elle conduit pour l'instant. Ces méthodes ne permettent pas encore d'aboutir à des coefficients de multiplication importants.

● La mise en place d'une palmeraie

● La préparation de la plantation

La pente optimale est comprise entre 1 et 5 % pour permettre une bonne circulation des eaux d'irrigation et de drainage. Le terrain est organisé en planches courtes communiquant entre elles, avec une pente de 3% environ. Le centre est occupé par les cultures basses et les ados par les palmiers dattiers. On considère que, pour une eau d'irrigation contenant 7 g de sel/litre, il faut installer un drain toute les deux rangées de palmiers (toutes les rangées pour 9 g/l).

Pour les brise-vent, il est conseillé d'établir les lignes d'arbres (trois lignes espacées de moins de 50 m) à une distance variant entre 50 et 150 m de la limite des palmiers. Les lignes d'arbres peuvent être disposées perpendiculairement aux vents dominants (brise-vent d'arrêt) ou avec un angle de 45° (brise-vent à défilement). Les haies de palmes sont efficaces contre les vents de sable.

● La plantation du palmier dattier

Pour une nouvelle plantation, les variétés doivent être susceptibles de produire, en quantité et en qualité, des dattes acceptables sur le marché national et si possible international. Elles doivent être adaptées aux conditions agroclimatiques locales.

On préfère la plantation en carré ou en quinconce, avec une distance entre les palmiers variant entre 7 et 10 m en fonction des cultivars et des cultures sous-jacentes. Cet espacement permet aux cultures sous palmier de se développer correctement.

Les rejets sont mis en place immédiatement après le sevrage, directement sur le site de plantation, dans un trou généralement d'environ 1 x 1 x 1 m, rebouché en incorporant une fumure de fond. On les enterre verticalement aux deux tiers du tronc, après avoir badigeonné la plaie de coupe avec un produit fongicide et cicatriciel.

Après plantation, les rejets peuvent être protégés des agressions climatiques par une couronne de palmes attachées à leur sommet. Ils doivent être irrigués régulièrement. Les doses et la fréquence des irrigations varient suivant les régions et la texture du sol. Il faut éviter que le rejet ne se trouve en situation de stress hydrique en s'assurant que le sol est toujours humide sur une profondeur de 50 à 60 cm.

Le rejet mâle sera choisi sur un palmier vigoureux, possédant des hampes florales bien larges et produisant régulièrement beaucoup de pollen fertile. Il faut prévoir un mâle pour quarante femelles environ.

● L'entretien d'une palmeraie

● L'irrigation

Pour des plantations adultes, la dose d'irrigation doit humecter une tranche de sol d'au minimum 1,20 m. Il est recommandé de toujours utiliser des volumes de plus de 3 000 m³/ha par irrigation. D'une manière générale, le rythme d'irrigation s'accélère et la quantité d'eau augmente en été pour apporter les quantités nécessaires.

● **La fumure**

Pendant les six premières années, on épand 250 g d'azote sous la couronne des jeunes palmiers.

Tableau 17. Fumure sur palmier dattier de plus de six ans

Age du palmier dattier	Production dattes (kg/ha)	Fumier (kg/ha)	Engrais complémentaires	
			Azote (kg/ha)	Acide phosphorique (kg/ha)
6 ans	800	1 000	40	20
9 ans	2 000	2 000	50	20
12 ans	4 500	4 000	70	20
15 ans	6 000	8 000	100	30

L'application de fumier et d'engrais se fait en deux fois : après la récolte, on apporte le fumier, l'engrais phosphaté et le tiers de l'engrais azoté. À la fécondation, on apporte le reste de l'engrais azoté.

● **La taille**

Cette opération correspond à un élagage des organes desséchés ou en voie de l'être, qui le plus souvent gênent certaines pratiques culturales (pollinisation et récolte par exemple) et présentent de fortes infestations de graphiose et de cochenilles. Ces organes sont les palmes de la partie basse de la frondaison, les spathes des inflorescences et les pédoncules des régimes. Cette coupe doit être effectuée le plus proprement possible, à l'aide d'un outil tranchant. La coupe des palmes doit être réalisée le plus près du tronc, au niveau de la base du rachis afin de ne pas laisser d'épines en place.

● **La suppression des ramifications surnuméraires**

Le dattier émet des ramifications souterraines (rejets) et aériennes. Le nombre de rejets émis par un tronc varie d'un à trente et celui des ramifications aériennes n'a jamais été défini. On estime qu'un dattier peut entretenir cinq à six rejets et que les ramifications aériennes doivent être supprimées. On procède donc à la suppression des rejets surnuméraires et à l'arrachage des ramifications aériennes dès qu'elles commencent à apparaître. Pour faciliter l'accès au tronc, les rejets laissés en place sont taillés en supprimant les palmes déployées.

● **La pollinisation artificielle**

Du fait de la limitation du nombre de dattiers mâles, pour accroître la productivité de la palmeraie, l'homme remplace le vent pour garantir un taux de nouaison supérieur à 60 %. L'inflorescence mâle est récoltée juste avant éclatement, les épillets sont détachés de la hampe par groupe de trois ou quatre et mis à sécher.

Dès l'éclatement de la spathe (au printemps), les inflorescences femelles sont fécondables et ceci pendant cinq à dix jours suivant les variétés. Les épillets mâles sont placés au niveau des inflorescences femelles (méthodes traditionnelles). On considère qu'il faut 50 à 60% de fleurs fécondées pour obtenir une belle récolte. L'utilisation d'une poudreuse est possible avec du pollen dilué dans du plâtre ou de la farine (pollinisation mécanisée).

● La taille et la limitation des régimes

Jusqu'à l'âge de six ans, il est recommandé de supprimer toutes les inflorescences du jeune palmier, car elles peuvent provoquer un ralentissement de la croissance. À l'âge de huit ans, on peut conserver quatre régimes. On en conserve six à dix ans, huit à douze ans; dix à quinze ans et de quinze à dix-huit lorsque le palmier est adulte. Le ciselage concerne les pédicelles situés au centre des régimes. Leur suppression entraîne une aération du régime et donc une maturation régulière des fruits.

● L'inclinaison des pédoncules

La longueur du pédoncule de l'inflorescence femelle peut atteindre 120 cm. Flexible, il se courbe sous le poids des dattes en cours de maturation. Lorsque le régime est très chargé en dattes, pour éviter que le pédoncule ne se casse suite à une trop forte inclinaison, on l'installe sur la palme la plus proche. Dans les cas extrêmes on peut étayer les régimes avec des fourches ou les amarrer aux palmes.

● Les maladies et les parasites

Tableau 18. Les maladies et parasites du palmier dattier

Maladies ou parasites	Type	Dégâts ou symptômes	Moyens de lutte
<i>Fusarium oxysporum</i> (Bayoud)	Fusariose Vasculaire	Flétrissement et blanchissement progressif des palmes entraînant la mort de l'arbre	Sélection de cultivars résistants
<i>Olygonychus spp</i>	Acariens	Toiles soyeuses sur les fruits perturbant leur développement	Poudrage au soufre
<i>Parlatoria blanchardii</i>	Cochenille Blanche	Encroûtement cireux et piqûres sur les parties chlorophylliennes et les fruits	Lutte biologique prioritaire (coccinelles) Traitement au parathion
<i>Ectomyelois spp</i> (pyrale)	Lépidoptère	Infestation des dattes	Lutte chimique contrôlée
<i>Ommatissum binotatus</i>	Punaise	Piqûres et dépôt de miellat favorisant des contaminations secondaires	Traitement au malathion
<i>Graphiola phoenicis</i>	Faux charbon	Pustules noires de forme allongée sur folioles	Incinérer les palmes touchées

● La récolte et le stockage

Il existe deux modes de récolte : le grappillage, au fur et à mesure de leur maturité, et la récolte dite *totale* où le régime est coupé à la base de la hampe fructifère. Un palmier bien entretenu peut produire 60 kg de dattes par récolte.

Pour conserver les dattes dans de bonnes conditions, il faut les entreposer à l'abri, dans un endroit sec, aéré et sain, sur des claies puis en cagettes. Une pièce au sol cimenté avec des moustiquaires aux ouvertures fait parfaitement l'affaire. Pour lutter contre les déprédations aviaires et empêcher les dattes d'être en contact direct avec la pluie, les phœniculteurs ont recours à la protection des régimes en utilisant des nattes, des sacs de polyéthylène, etc.

● La production actuelle

La production mondiale s'élève à plus de cinq millions de tonnes et les plus gros pays producteurs sont l'Égypte (1Mt), l'Iran (900 000 t) et l'Arabie Saoudite (700 000 t). Les échanges internationaux concernent le dixième de la production mondiale et les principaux pays exportateurs sont les Emirats Arabes Unis (195 000 t), l'Iran (108 000 t) et le Pakistan (79 000 t).

LE PAPAYER

Carica papaya

Anglais : papaw-tree

Espagnol : papaya

Portugais : mamoeiro

Famille des *Caricaceae*

● Les utilisations du papayer

La papaye est cultivée pour son fruit, dont la pulpe est consommée en hors-d'œuvre, en dessert ou en salade mélangée avec d'autres fruits. Verte, elle peut être consommée en gratin ou en salade. Quand elle est incisée, la peau de la papaye verte laisse perler un liquide blanc qui coagule rapidement. Ce latex desséché contient un principe actif, la papaïne, dont les propriétés se rapprochent de celles de la pepsine et de la trypsine. L'action digestive et dissolvante des protéines qui caractérisent la papaye est utilisée en thérapeutique, dans l'industrie du cuir, de la laine et de la soie, en brasserie et dans les industries alimentaire et pharmaceutique.

● La plante et son environnement

Le papayer est originaire d'Amérique tropicale, centrale et du Sud, du Mexique à la Bolivie. À l'heure actuelle, on le trouve dans toutes les régions tropicales et équatoriales, à basse altitude.

● La morphologie

C'est un arbre généralement non ramifié dont le tronc, non ligneux et fortement marqué par les cicatrices foliaires, atteint 3 à 9 m de haut. Il se termine par une couronne de grandes feuilles à sept lobes, longuement pétiolées.

Le papayer est un arbre dioïque, polygame, avec trois types sexuels :

- > les plants mâles (fleurs avec étamines), qui ne portent pas de fruits comestibles ;
- > les plants femelles (fleurs avec pistils), portant des fruits subsphériques généralement exportables ;
- > les plants hermaphrodites, bisexués. Les fruits piriformes sont les plus demandés par les marchés d'importation.

● L'écologie du papayer

Le papayer est une plante de climat chaud à pluviométrie abondante. La température optimum est de 26 à 30°C. Le papayer craint le froid (des températures trop basses retardent la maturité des fruits et peuvent entraver la fécondation), la chaleur (températures supérieures à 32°C) l'inondation et le vent. Très sensible aux vents, la plantation doit être protégée éventuellement par des brise-vent pour éviter le bris des plants et la contamination par des parasites. Sa culture nécessite une pluviométrie abondante et bien répartie, de 1 800 à 2 000 mm par an. Au cours des mois de saison sèche, on doit, si nécessaire, irriguer pour obtenir un total de 150 à 200 mm d'eau par mois. Le sol doit être humifère et aéré et drainer parfaitement. Il ne faut pas planter sur des sols lourds et restant humides.

Les différentes variétés

- Solo N°8 : la plus cultivée, à chair jaune orangé, poids 300-400 g, de forme oblongue pour les pieds hermaphrodites et ronde pour les femelles ;
- Sunrise : chair rouge. Mêmes caractéristiques que Solo ;
- Sunset : chair rouge. Mêmes caractéristiques que Solo ;
- Colombo : chair rose, gros fruit de 700 g à 1 kg, de forme plus ronde ;
- Waïmanalo : chair jaune, fruit de 300 à 600 g.

● La culture

● La mise en place de la plantation

En culture mécanisée, il est nécessaire, si le sol est compact, de sous-soler profondément (60-70 cm). Ensuite, selon la disponibilité, on apporte de 50 à 100 t/ha de fumier de bovin et on laboure en formant des ados.

En culture non mécanisée, on creuse pour chaque plant un trou de 50 cm x 50 cm x 50 cm, on mélange la terre de sortie du trou avec 20 kg de fumier bien décomposé, 500 g d'hyperphosphate et 200 g de sulfate de potassium et on rebouche le trou en formant une butte.

Dans tous les cas, il faut effectuer un piquetage soigné en veillant au bon alignement des rangs et des diagonales ainsi qu'à la perpendicularité des alignements. Les densités peuvent varier de 2 000 à 2 500 plants à l'hectare suivant le type de culture. On peut planter en quinconce à 2 x 2 en culture non mécanisée et à 2 x 2 x 4 en double rang pour la culture mécanisée.

Avant de réaliser la plantation, il est judicieux de se renseigner auprès d'un pépiniériste sérieux de la disponibilité en plants. En effet, les plants doivent être issus de semences certifiées, obtenues à partir de fleurs autopollinisées et protégées de toute pollinisation intempestive. Si on emploie des semences non sélectionnées, on a une dérive variétale.

La meilleure période de plantation est le début de la saison des pluies, car la reprise et la croissance y sont meilleures. Dans ces conditions, la production débutera environ six à huit mois après la plantation.

Il faut placer le plant en motte, débarrassé de son sachet plastique, dans une légère cavité creusée au sommet de l'ados, dans le cas d'une préparation mécanique, ou de la butte issue du rebouchage, dans le cas de la trouaison manuelle. Ensuite, on chausse la motte avec de la terre de surface prélevée dans les interlignes sans dépasser le niveau de la terre de la motte, en tassant modérément. On arrose abondamment après plantation.

● L'entretien de la plantation

● L'irrigation

Les besoins du papayer sont de l'ordre de 150 à 200 mm/mois. Durant la saison sèche, il est indispensable d'irriguer pour maintenir le potentiel fleur-fruit. Le micro-jet ou le goutte-à-goutte sont des systèmes intéressants. Il faut veiller à ne mouiller ni le tronc ni le feuillage. Dans certaines zones, l'irrigation par aspersion sur frondaison donne de bons résultats du fait de la sécheresse de l'air.

● Le désherbage

Le papayer étant sensible aux herbicides tant que les plants sont jeunes, il faut désherber à la main autour des plants et utiliser un cache pour appliquer les herbicides (paraquat au début et ensuite, dès que les plants ont six mois, glyphosate à 8 à 10 ml de produit commercial à 360 g/l pour 10 l d'eau). Ces traitements sont réalisés par temps calme en absence de vent.

● La fumure

Les épandages sont mensuels. Autour de chaque plant, on épand mensuellement 50 g de 15-5-30 s entre 1 et 6 mois, puis 100 g de 15-5-30 s à partir de sept mois (soit 1 800 kg de 15-5-30 s par hectare pour un an).

La fumure peut être adaptée suivant les résultats des analyses de sol.

Tableau 19. Exemple de plan de fumure (en grammes, par papayer)

Age	Urée	Sulfate de potassium	Chaux magnésienne	Phosphate tricalcique
1 mois	50			
2 mois	75	40		
4 mois	100	40		
6 mois	100	70		
8 mois	100	70		
10 mois	125	80		125
12 mois			1 000	
14 mois	150	100		125
16 mois	150	100		
18 mois	150	100		125

● La protection phytosanitaire

● Les ravageurs

On reconnaît les nématodes (*Meloidogyne Goeldi*, *Rotylenchulus reniformis*) à l'apparition de proliférations locales de tissus qui ont l'aspect d'un nœud ou d'une galle. La croissance des plants est ralentie et la production fortement réduite. Le traitement consiste en la rotation des cultures, la désinfection des sols deux mois avant plantation et l'application de nématicides en cours de végétation.

De très petite taille, les acariens (*Polyphagotarsonemus latus*, *Tetranychus sp.*) sont transportés par le vent et s'installent sur les jeunes feuilles au sommet. Ils détruisent le bourgeon terminal et peuvent entraîner la mort du papayer. La déformation et la décoloration des feuilles parasitées sont les symptômes les plus frappants.

La lutte préventive consiste en une protection efficace contre le vent. Dès l'apparition des premiers symptômes de déformation, on peut réaliser des traitements à deux jours d'intervalle avec une des matières actives mentionnées dans le tableau 20.

● Les maladies fongiques

L'oidium (*Oidium caricae*) est dû à un champignon qui se développe sur la face inférieure des feuilles en y formant des taches de moisissure blanche. On lutte en enlevant les vieilles feuilles qui sont attaquées et en traitant tous les quinze jours (voir tableau 20).

Les fruits attaqués par l'antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) présentent des taches, le plus souvent en cours de maturation. Ces taches sont rondes, légèrement déprimées, d'un vert plus foncé que le reste du fruit ; elles s'agrandissent et prennent un aspect cratériforme. L'attaque concerne aussi les pétioles des feuilles sur le point de faner. Les matières actives efficaces sont mentionnées dans le tableau 20.

Les pourritures des racines, du collet et du tronc sont des affections graves dues à *Phytophthora* et au *Pythium* ; elles entraînent souvent la mort des arbres. Les symptômes sont :

- > les feuilles jaunissent et meurent prématurément,
- > les pétioles des feuilles restent courts,
- > les fleurs nouent difficilement,
- > les fruits formés demeurent petits et ne mûrissent pas. À un stade plus avancé, il ne reste plus qu'un petit bouquet de feuilles à l'apex de la tige ;
- > au niveau du sol, la base du tronc est ramollie et pourrie et les arbres malades tombent facilement.

La prévention passe par la culture du papayer sur des terrains sains non inondables. Il faut arracher et détruire par le feu les arbres atteints au tronc ou aux racines. En cas d'attaques foliaires, des traitements à base de Phoséthyl-Al peuvent enrayer la maladie.

● Les viroses

- Le papayer est sensible à un grand nombre de viroses dont les plus fréquentes sont :
- > le *bunchy top*, transmis par *Empoasca papaya*,
 - > la frisolée jaune ou *yellow erinotole*, transmise par *Orosius argentatus*,
 - > la mosaïque taches annulaires (Ringspot), transmise par les pucerons (*Aphis gossy - pii*,...)
 - > le TSWV, transmis par un thrips.

Tableau 20. Les principaux traitements du papayer

Ravageurs, maladies	Organes attequés	Matière active	Délai emploi	Observations
Tarsonème	Jeunes feuilles	Endosulfan Soufre	15 j	Alterner et traiter le soir
Tétranyques	Feuilles	Benzoximate	15 j	En cas de fortes attaques
Oidium	Feuilles	Bupirinate	7 j	Ne pas utiliser sur fleurs
		Fénarimol	7 j	
		Chinométhionate	7 j	
Anthracnose	Fruits	Bénomyl	2 j	
Pythium	Base du tronc	Phoséthyl-Al	2 j	
Phytophthora	Feuilles	Phoséthyl-Al	2 j	

● La récolte et le rendement

La récolte peut se faire lorsque la coloration entre les carpelles vire au jaune (point jaune). La récolte débute entre les huitième et dixième mois après la plantation et se déroule de manière continue jusqu'à vingt ou vingt-deux mois. La récolte se pratique fruit par fruit. Ceux-ci sont déposés dans des bacs en plastique à une couche afin d'éviter les coulures de latex sur les autres fruits.

Un plant peut donner jusqu'à 35 ou 40 kg de fruits, ce qui représente un rendement de l'ordre de 60 à 80 t/ha sur vingt-deux mois.

● La production actuelle

La consommation de papaye augmente en Europe, mais très faiblement par rapport à celle d'autres fruits tropicaux. Les exigences de la distribution en matière de qualité ne sont pas toujours compatibles avec les caractéristiques du produit : fermeté, délai de conservation, résistance en rayon... Le marché européen est approvisionné par deux principales origines : le Brésil et la Côte d'Ivoire.

LES ESPÈCES FRUITIÈRES D'IMPORTANCE SECONDAIRE

● *L'abricotier des Antilles ou de Saint Domingue (fruit : abricot)*

Mammea americana L.

Anglais : mamey apple

Espagnol : albaricoque de Santo domingo

Famille des *Clusiaceae*

Le fruit de cette espèce peut peser jusqu'à 4 kg. Sa pulpe est acidulée ; sa saveur rappelle celle de l'abricot (*Prunus armeniaca*). Le fruit est riche en vitamine A. Ce fruit est le plus souvent consommé en marmelade, en confiture ou en salade de fruits. Les graines ont un pouvoir insecticide. L'arbre, de grande taille, peut atteindre 25 m de haut ; ceci rend difficile la récolte.

C'est une espèce rustique, qui s'adapte aussi bien à des climats secs qu'humides. Il n'existe pas de variété sélectionnée connue. Cet abricotier se multiplie grâce à ses grosses graines, qui ne conservent pas longtemps leur pouvoir germinatif. Elles germent rapidement. Les racines sont pivotantes, vigoureuses et supportent mal les transplantations. Les distances de plantation doivent être lâches (au moins 10 m entre les arbres). La période juvénile des sujets issus de semis est longue : entre 6 et 10 ans. Dans de bonnes conditions, les meilleurs arbres peuvent porter quatre cents fruits.

Cet abricotier produit des fruits dignes d'intérêt qui sont malheureusement difficiles à valoriser en dehors des zones de production, du moins en fruits frais. Seule la transformation permettrait une réelle valorisation de cette espèce.

● *Les annones*

Famille des *Annonaceae*

Tableau 21. Les variétés d'annones

Nom de l'arbre	Nom du fruit	Nom anglais	Nom espagnol	Nom latin
Pomme cannelle	Atte Sugar	Apple	Annona blanca	<i>Annona squamosa</i> L.
Cœur de bœuf	Cachiman	Bullock-heart	Anon	<i>Annona reticulata</i> L.
Chérimolier	Chérimole	Custard apple	Cherimoya	<i>Annona cherimolia</i> Miller
Corossolier	Corossol	Soursop	Guanabana	<i>Annona muricata</i> L.

Les annones sont des fruits très appréciés. La chérimole est même considérée comme l'un des meilleurs fruits du monde. Elles sont généralement consommées à l'état frais, hormis le corossol qui est transformé en jus ou sorbet. Leur saveur douce s'explique par des teneurs en sucre élevées, jusqu'à 30 mg/100 g de pulpe pour la pomme cannelle. Les fruits sont aussi riches en calcium et en vitamine C. Les feuilles et les fruits verts sont astringents, ce qui leur confère des vertus médicinales.

Les annones sont originaires des terres basses d'Amérique centrale tropicale, hormis le chérimolier, qui vient des hauts plateaux et vallées inter-andines du Pérou.

Ces berceaux originels conditionnent étroitement les zones d'adaptation écologique de ces espèces. Ainsi, le chérимolier, annone la plus cultivée au monde, affectionne particulièrement les climats subtropicaux. Les autres annonnes sont très largement répandues dans toute la zone tropicale. Un hybride entre le chérимolier et la pomme cannelle (l'atemoya) fait également l'objet d'une culture intensive, notamment en Australie, en Israël et en Floride.

Il existe de nombreuses variétés : *Pink's Mammouth* ou *African Pride* pour l'atemoya ; *Bays*, *White* ou *Fino de Jete* pour le chérимolier. Toutes ces variétés sont multipliées par greffage sur des porte-greffes de la même espèce, issus de semis. Des associations inter-spécifiques sont possibles (pomme cannelle sur chérимole, cœur de bœuf sur corossol, etc.) mais les connaissances dans ce domaine sont encore peu nombreuses.

Les densités de plantation varient en fonction du climat, de l'espèce et du porte-greffe utilisé. Voici quelques préconisations : pomme cannelle (3 x 4 m), atemoya (5 x 3 m), chérимolier et cœur de bœuf (7 x 5 m) et corossol (6 x 4 m).

Les rendements oscillent entre dix et vingt tonnes de fruits à l'hectare. La dichogamie des annonacées est partiellement responsable de la variabilité des rendements. En effet, les fleurs, bien qu'hermaphrodites, ne peuvent s'autoféconder ; les étamines et le pistil n'arrivent pas à maturité en même temps. Dans un premier temps, le stigmate est réceptif, puis, le lendemain, le pollen est libéré des anthères alors que le stigmate n'est plus fonctionnel. Cette dichogamie engendre une mauvaise pollinisation qui se traduit bien souvent par de faibles récoltes mais aussi par des fruits déformés. La pollinisation manuelle des fleurs permet de remédier efficacement à cette particularité. Cette technique a été adoptée par la plupart des pays producteurs de chérимole et d'atemoya. Il suffit de recueillir le pollen à l'aide d'un pinceau et d'un récipient dans les fleurs au stade mâle et ensuite de badigeonner les fleurs au stade femelle avec ce dernier. Le taux de nouaison passe de 7 à 95 % et les rendements sont doublés.

Les contraintes phytosanitaires sont importantes. Sont répertoriés des ravageurs, des maladies fongiques et bactériennes. L'extrême fragilité des fruits après la récolte limite considérablement les possibilités d'exportation de ces derniers en dehors des zones de production. Seuls des pays commercialement très organisés peuvent y prétendre. Pour les autres, ces cultures présentent un intérêt de diversification pour une valorisation locale.

● Le babaco

Carica heilbornii-badillo cv. *Pentagona*

Français, anglais et espagnol : babaco

Famille des *Caricaceae*

Le fruit du babaco est juteux, acidulé et légèrement parfumé. Il est essentiellement transformé en jus, sorbets ou en pâtes de fruit. Le babaco est un hybride naturel provenant probablement de la fécondation entre *Carica stipulata* et *C. pubescens* (papayer des montagnes).

C'est une espèce subtropicale (arrêt de croissance à 5°C) donnant de petits « arbres » qui ne dépassent guère 3 m. Les densités de plantation sont serrées, entre 3 000 et 5 000 pieds/ha. La croissance est relativement rapide et un recépage régulier (tous les trois ou quatre ans) est nécessaire. La maturation des fruits est lente (huit à dix mois).

Ces derniers sont dépourvus de graines (fruits parthénocarpiques) et pèsent 1 kg en moyenne.

La multiplication du babaco est réalisée par bouturage ou par greffage sur *C. chryso-petala* (résistant à certaines nématodes). Il n'existe qu'une seule variété. Le babaco est sensible à de nombreux ravageurs (nématodes, acariens, pucerons) et maladies cryptogamiques (*Fusarium*, *Phytophthora* et *Pythium*). Deux virus (le *Virus rugueux* et celui de la *Mosaïque du tabac*) sont particulièrement dommageables. Du matériel végétal sain, indemne de ces viroses, est à rechercher pour toute implantation nouvelle de cette culture, qui produit, dans de bonnes conditions, entre vingt et trente fruits par arbre et par an. Ces derniers peuvent se conserver plusieurs semaines à 6°C.

● Les cactus fruits

Famille des Cactaceae

Tableau 22. Les variétés de cactus fruits

Nom français de l'arbre	Nom du fruit	Nom anglais	Nom espagnol	Nom latin
Le figuier de Barbarie	Figue	Prickly pears	Tuna	<i>Opuntia ficus-indica</i> Mill.
Le Pitahaya	Pitaya	Climbing cacti	Pitaya	<i>Hylocereus</i> spp. Britt. et Rose et <i>Selenicereus megalanthus</i> (Schum) Britt. et Rose
Le cierge			Cacto columnar	<i>Cereus hexagonus</i> Mill.

Hormis la figue de Barbarie, les autres fruits de cactus sont peu connus. Ils ont en commun une chair rafraîchissante parsemée de petites graines. La saveur dépend de l'espèce. La figue de Barbarie est épineuse (certaines sélections le sont moins ou sont totalement inermes) ; elle doit être pelée précautionneusement avant d'être consommée. La couleur du fruit (pulpe et épiderme) varie en fonction de la variété, de jaune à rouge rosé. Les tiges de certaines espèces d'*Opuntia* sont également de bons fourrages pour les animaux.

Les pitahayas (genre *Hylocereus*) donnent de gros fruits (400 à 800 g), inermes, à écailles foliacées, de couleur rose ou rouge violacé. La pulpe, parsemée de très petites graines noires, est blanche (*H. undatus*) ou rouge (*H. purpusii*, *H. costaricensis*) suivant les espèces. Une autre espèce (*Selenicereus megalanthus*) porte des fruits épineux à épiderme jaune et pulpe blanche ; les épines tombent lorsque le fruit est mûr. Les fruits du cierge (*Cereus*) sont parfaitement lisses et globuleux (300 à 400 g). La couleur de l'épiderme varie (rouge, rose ou jaune) ; la pulpe est blanche, à saveur plus ou moins prononcée d'abricot.

Tous ces fruits de cactus sont consommés frais ou transformés en jus ou en sorbets. Les cactus sont généralement rustiques et s'adaptent particulièrement bien aux climats chauds et secs, voire désertiques pour certaines espèces (*Opuntia*). Ils supportent même de petites gelées. Leur multiplication s'effectue par boutures de fragments de tiges. Elles peuvent être effectuées directement en place, à des distances qui dépendent de l'espèce : tous les mètres pour *Opuntia*, tous les 2 ou 3 m pour *Hylocereus* et *Selenicereus* (ces espèces sont grimpantes et nécessitent donc un tuteur), tous les 2 ou 3 m également pour *Cereus*.

S'ils sont irrigués leur croissance peut être rapide et la phase juvénile courte (deux ans). Les cactus sont peu affectés par les ravageurs et maladies.

Aux densités précédemment citées, les rendements oscillent entre dix et vingt tonnes de fruits par hectare. Le rendement et la qualité des fruits des *Hylocereus* peuvent être améliorés par une pollinisation manuelle des fleurs. Les fruits possèdent généralement de bonnes aptitudes à la conservation (plusieurs semaines à 7-10°C) ; ils sont attrayants par leur forme et leur couleur originales (*Hylocereus* et *Selenicereus*) et appréciés car rafraîchissants ; mis à part les figues de barbarie, les fruits de cactus sont manifestement sous-valorisés.

● **Le caïmitier (fruit : pomme de lait)**

Chrysophyllum cainito L.

Anglais : star apple

Espagnol : ablaca

Famille des Sapotaceae

Très connu pour sa valeur ornementale (feuillage bicolore, vert foncé et rouille), le caïmitier porte aussi des fruits de qualité. Ils peuvent être consommés crus ou transformés (confiture, compote). La peau doit être enlevée car elle contient un latex au goût déplaisant.

Le caïmitier, par ses origines, a des exigences d'arbre tropical (climat chaud et humide). Il supporte mal les faibles températures. Deux grands types de variétés existent, les unes à fruits violets, les autres à fruits verts. Les cultivars sélectionnés sont multipliés par greffage sur des pieds francs. Les graines demandent vingt à quarante jours pour germer. La phase juvénile des arbres est relativement longue (cinq à sept ans). Leur grand développement nécessite des distances de plantation lâches (8 à 12 m selon les écologies). Le délai floraison-récolte est long (quatre à cinq mois). Les fruits ne tombent pas de l'arbre. Il faut donc les cueillir et souvent les laisser finir leur maturation. Les contraintes phytosanitaires sont importantes (maladies et ravageurs). Les mouches des fruits provoquent en particulier de nombreux dommages sur les fruits.

Cette espèce est encore malheureusement peu connue en dehors des ses zones de production. La fragilité du fruit après récolte peut être un frein à son développement.

● **Le carambolier (fruit : carambole)**

Anglais : star fruit

Espagnol : carambola

Averrhoa carambola L.

Famille des Oxalidaceae

Deux grands types de variétés de carambole existent, l'un acide, l'autre doux et plus ou moins sucré. Seul ce dernier est véritablement commercialisé ; le premier sert plutôt de porte-greffe au second. La carambole est un fruit peu calorique, d'une bonne teneur en vitamine C (30 mg/100 g). Les fruits servent à la confection de sorbets et sont également très appréciés pour la décoration en restauration. Les tranches de fruits forment des étoiles ; elles sont conservées dans du sirop ou séchées.

Le carambolier prospère en climats chauds (21 à 32°C) et humides (1 500 à 3 000 mm). Une exposition ombragée lui est bénéfique, surtout dans son jeune âge. Les meilleures variétés sont multipliées par greffage. Les densités de plantation oscillent entre 200 et 400 arbres/ha. La phase juvénile des arbres greffés dure trois ans. Le carambolier est peu affecté par les maladies : seules les mouches des fruits (et notamment *Dacus dorsalis*) causent parfois de graves dommages (en Asie les fruits sont ensachés pour lutter préventivement contre ce ravageur). En année de croisière, un verger peut produire jusqu'à 40 t de fruits/ha.

Le marché de la carambole est porteur et pas encore saturé. Les fruits sont relativement fragiles (ils se conservent tout de même deux semaines à 5-10°C) et nécessitent une mise en marché précautionneuse.

● Les cerises tropicales

Tableau 23. Les espèces de cerises tropicales

Nom français de l'arbre	Nom du fruit	Nom anglais	Nom espagnol	Nom latin	Famille
Le cerisier de Cayenne	Cerise à côte	Surinam cherry	Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	L. Myrtaceae
Le cerisier du Brésil		Brasilian cherry	Grumichama	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Myrtaceae
Le cerisier des Antilles	Acerola	Barbados cherry	Cereza Colorada	<i>Malpighia punicifolia</i> L.	Malpighiaceae

Comme les véritables cerises, ces fruits sont extrêmement fragiles après la récolte. Les saveurs sont très différentes d'une espèce à l'autre. La cerise du Brésil, au goût agréablement sucré-acidulé, rappelle celui de la cerise des régions tempérées (*Prunus avium*). Tandis que la saveur de la cerise de Cayenne est à la fois acidulée, aromatique et épicée. Enfin, la pulpe de la cerise des Antilles est plutôt aigrelette. Ces cerises sont consommées à l'état frais, bien mûres et sont souvent transformées (gelées, sorbets, boissons). La cerise des Antilles est un des fruits les plus riches en vitamines C (entre 2 000 et 2 800 mg pour 100 g de pulpe ; à titre indicatif le citron n'en contient que 60 mg). Cette qualité lui offre d'ailleurs de réelles perspectives en pharmacopée. Originaires de l'Amérique tropicale, ces espèces affectionnent particulièrement les climats chauds et humides. Cependant le cerisier des Antilles peut supporter ponctuellement de faibles températures (5°C). Ces arbres sont peu exigeants quant à la nature du sol, pourvu qu'il draine bien.

Les cerisiers sont généralement multipliés par semis. Les variétés sélectionnées sont par contre greffées ou bouturées. Le cerisier des Antilles compte deux groupes de cultivars, l'un acide (*Maunawili*, *Beaumont*), l'autre doux (*Manoa sweet*, *Tropical ruby*). Les densités de plantation varient en fonction de l'espèce. Le cerisier du Brésil a un type de croissance plutôt arborescent : 5 à 7 m entre les arbres sont donc préconisés. Les cerisiers de Cayenne et des Antilles sont arbustifs et peuvent être conduits en haie fruitière de 2 x 5 m. À ces densités, les rendements oscillent entre dix et vingt tonnes de fruits par hectare.

Ces cerisiers sont peu affectés par les maladies et ravageurs, et ceux-ci ne pas spécifiques à ces espèces. Cependant, en Floride, il existe de sérieux problèmes liés aux nématodes (*Meloidogyne incognita*).

Les fruits sont très fragiles et demandent, dès la récolte, un conditionnement spécifique pour éviter des pertes trop importantes. La teneur en vitamine C des cerises des Antilles diminue avec l'avancement de la maturation du fruit ; elle est à son maximum quinze jours après la nouaison. Ces cerisiers produisent des fruits de qualité, malheureusement difficiles à valoriser en frais en dehors des zones de production. Seule la transformation permet une réelle valorisation de ces espèces.

● **Le coqueret du Pérou ou physalis**

Physalis peruviana L.

Anglais : cape goosberry

Espagnol : uvilla

Famille des Solanaceae

Le coqueret du Pérou est caractéristique : son fruit est entouré d'un calice (enveloppe ressemblant à un lampion) de couleur verte, virant au marron à maturité. Le fruit mûr est orange et contient de nombreuses petites graines. De saveur sucrée, aromatique et légèrement aigrelette, il est consommé cru ou transformé (confitures, tartes...). Il est riche en vitamines A et C (60 mg/100 g).

C'est une espèce relativement rustique, s'accommodant de nombreuses écologies. Il craint néanmoins les sols mal drainés et asphyxiants. Les vents violents lui sont néfastes. Les parties aériennes gèlent à - 3 C. Cette espèce est multipliée par semis et par bouturage. Quelques variétés existent, sélectionnées sur la grosseur du fruit. Les densités de plantation sont d'environ 6 500 à 11 000 plants à l'hectare.

Le physalis peut être cultivé comme une plante annuelle ou bi-annuelle. Il est conservé pendant plusieurs années lorsqu'on le recèpe au niveau du sol. Les rendements peuvent atteindre 5 à 6 t/ha. Le calice entourant le fruit permet à ce dernier de se conserver trois à quatre mois à température ambiante. Cette espèce présente de nombreux atouts cultureux (rapidité de production, conservation des fruits). Son avenir est cependant lié à un marché jusqu'ici peu développé.

● **Le durian**

Durio zibethinus Murray

Anglais : durian

Famille des Bombacaceae

Le durian est un gros fruit pouvant peser jusqu'à 5 kg. Son odeur est forte et persistante ; son goût est plus encourageant, entre le caramel et la vanille. Ce fruit est principalement mangé frais et les Asiatiques le considèrent comme le roi des fruits tropicaux (le mangoustan étant leur reine). La culture du durian mais aussi sa consommation ne se cantonnent d'ailleurs qu'à cette zone géographique (la Thaïlande, l'Indonésie et la Malaisie sont les principaux pays producteurs).

Le durian affectionne les climats chauds (> 22°C) et humides (> 1500 mm d'eau/an). Les variétés sont nombreuses et multipliées par greffage sur des plants issus de semis (pouvoir germinatif faible, entre trois et huit jours). Les arbres doivent être espacés d'au moins 8 m compte tenu de leur fort développement. La phase juvénile des arbres est longue (sept à douze ans).

De nombreux ravageurs et maladies affectent l'espèce, le *phytophthora* semblant être particulièrement préoccupant (d'autres espèces de *Durio*, résistantes, pourraient servir de porte-greffe). Des rendements de 10 à 18 t/ha/an sont obtenus en Malaisie. Le marché asiatique ne semble pas être saturé. Le développement et la valorisation de cette espèce y sont étroitement liés.

● **Le feijoa (fruit : goyave-ananas)**

Feijoa sellowiana Berg.

Anglais : feijoa

Espagnol : guayabo del pais

Famille des *Myrtaceae*

Le feijoa est consommé frais ou transformé. La pulpe du fruit est blanchâtre, translucide et juteuse. Son goût sucré est intermédiaire entre la goyave et l'ananas. Par ailleurs, c'est un bel arbuste à feuillage persistant, bicolore et à belles fleurs rouge sang. Bien que cette espèce soit originaire d'Amérique latine, la Nouvelle-Zélande est aujourd'hui le principal producteur.

Le feijoa affectionne les climats subtropicaux et supporte des gelées de -16°C . Il résiste bien à la sécheresse mais craint les vents violents. La multiplication par semis de cette espèce est réservée à la production de porte-greffe. Les variétés sélectionnées (Coolidges, Mammouth) sont multipliées par greffage, bouturage ou marcottage. Le feijoa a un développement modéré et peut être conduit en haie fruitière à des densités de plantation de 2,5-3,5 m x 5 m. La phase juvénile est courte : trois ans. En pleine production, un arbre peut porter 20 à 25 kg de fruit. L'obtention de fruits et leur qualité sont étroitement liées à une bonne pollinisation (un mélange de différents cultivars est indispensable en verger). Ils sont récoltés mûrs et peuvent se conserver huit semaines à 4°C . L'espèce est peu affectée par les maladies ou ravageurs ; seules les mouches de fruits causent des dommages importants.

● **Le figuier (fruit : figue)**

Ficus carica L.

Anglais : fig

Espagnol : higo

Famille des *Moraceae*

Les figues se consomment fraîches ou séchées. Les variétés sont nombreuses et se distinguent souvent par la couleur et le calibre de leurs fruits. Cependant, trois types de figuiers existent : le caprifigier (figuier sauvage, mâle), le figuier domestique (figuier femelle) et les figues-fleurs. Les deux premières variétés sont complémentaires : le figuier mâle permet au seul pollinisateur du figuier (un insecte appelé blastophage) d'assurer son cycle de reproduction. Les fruits de cette variété sont immangeables tandis que le figuier femelle porte les figues après avoir été fécondé par ce pollinisateur. Le troisième type est composé de nouvelles variétés parthénocarpiques, à fruits plus aqueux, moins sucrés et convenant moins bien au séchage.

Le figuier demande un climat chaud et sec ; le pourtour méditerranéen lui convient particulièrement bien. L'espèce est rustique.

Elle se multiplie facilement par boutures. Une taille régulière des arbres est nécessaire pour sa conduite en buisson et pour favoriser le démarrage de nouvelles branches qui porteront la fructification de l'année. Les figuiers sont attaqués par quelques maladies : le pourridié et le *Cercospora* sont notamment à craindre.

● Les fruits de la passion

Famille des *Passifloraceae*

Tableau 24. Les espèces de fruits de la passion

Nom français de l'arbre	Nom du fruit	Nom anglais	Nom espagnol	Nom latin
Le Maracuja	Fruit de la passion, grenadille	Passionfruit	Maracuja	<i>Passiflora edulis</i> Sims
La Grenadelle	Grenadille douce	Sweet granadilla	Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i> Juss.
La Curuba	Taxo	Banana passionfruit	Curuba	<i>Passiflora mollissima</i> Batley
La Barbadine		Giant granadilla	Badea	<i>Passiflora quadrangularis</i> L.

Tous les fruits de la passion sont consommés crus. Dans les grands pays producteurs, leur transformation en jus est cependant quasi généralisée. Ce dernier est conservé concentré et congelé et sert à la préparation de gelées, de sorbets, de glaces et de cocktails. Les feuilles de passiflores ont des vertus émétiques⁴, tandis que les graines sont aussi riches en huile que celles de tournesol. Les différentes espèces et variétés de fruits de la passion se reconnaissent facilement par leur couleur, leur forme et leur saveur.

On distingue deux types de *Passiflora edulis* : l'un à épiderme violet, l'autre à épiderme jaune avec des lenticelles blanches (*P. edulis* cv. *Flavicarpa*). Ce dernier, plus gros et plus acide, convient généralement mieux à la transformation. La barbadine ressemble quant à elle plus à une cucurbitacée qu'à un fruit de la passion. Elle est de grande taille, l'intérieur est cependant identique aux passiflores (pulpe sucrée et acidulée contenant de petites et nombreuses graines). La curuba ressemble extérieurement à une petite banane, l'arille est de saveur subacide et très parfumée (ce fruit est essentiellement transformé en jus). La saveur de la grenadille est beaucoup moins acide que celle de ses cousines précédemment décrites ; son arille est très parfumé et très sucré.

Les régions d'origine des différentes espèces conditionnent étroitement les possibilités d'adaptation écologique de ces dernières. Ainsi, *P. ligularis* et *P. mollissima* se plairont plutôt en zones subtropicales, la curuba supportant même de petites gelées (- 2°C) tandis que *P. edulis* cv *flavicarpa* et *P. quadrangularis* affectionnent les climats chauds et plus ou moins humides. La variété à épiderme violet de *P. edulis* est beaucoup plus rustique et s'acclimate aussi bien à des écologies chaudes que fraîches.

Différentes techniques de multiplication sont utilisées : semis, bouturage ou greffage. Pour les variétés sélectionnées de *P. edulis*, le greffage est préféré et réalisé sur *P. edulis* cv. *Flavicarpa* de semis, plus tolérant aux pathogènes de la maladie du collet. La culture des fruits de la passion nécessite un palissage. Les densités de plantation varient de 300 à 1 000 plants par hectare.

⁴ Émétique : qui fait vomir.

Les sols riches, profonds et surtout drainant bien sont à privilégier. En culture, une taille d'entretien et de fructification est indispensable afin de favoriser le développement de rameaux de l'année d'où sortiront les boutons floraux.

Les premiers fruits apparaissent six à neuf mois après la plantation. Les récoltes deviennent régulières à douze ou seize mois. Les rendements varient beaucoup en fonction de l'espèce et de la variété : en moyenne de 10 à 20 t/ha. Certaines variétés, par leurs caractéristiques florales et un manque de pollinisateurs efficaces, nécessitent de pratiquer une pollinisation manuelle pour augmenter leur rentabilité (*P. quadrangularis* et *P. edulis* cv. Flavicarpa et hybride de cette dernière avec *P. edulis* à épiderme violet). Il suffit pour cela de prélever les étamines des fleurs et de les appliquer sur les trois stigmates (de la même fleur ou d'une fleur voisine, selon les variétés) pour les féconder.

Des maladies cryptogamiques (*Phytophthora* spp, *Fusarium*) et virales (woodiness disease) sont à craindre. De nombreux ravageurs causent également des dégâts (nématodes, acariens, cochenilles, charançons, pucerons...).

Les différentes espèces de passiflores présentent de nombreux avantages : rentabilité, phase juvénile courte, conservation des fruits facile, valorisation industrielle... Seules les contraintes phytosanitaires importantes en écologies très humides peuvent freiner leur développement.

● Les goyaviers

Famille des Myrtaceae

Le goyavier (fruit : goyave)

Psidium guajava L.

Anglais : guava

Espagnol : guayaba

Le goyavier-fraise

Psidium cattleianum Sabine

Anglais : cattley guava

Espagnol : guayaba de fresa

La fragilité des fruits des différentes espèces de goyaviers limite bien souvent leur consommation en frais aux lieux de production. Par contre, une industrie de transformation active existe, notamment pour la goyave. Toutes sortes de produits sont confectionnés, jus pur ou en mélange, nectars, sirops, gelées, pâtes de fruit, etc. La goyave a généralement une saveur douce, musquée et très aromatique tandis que celle de la goyave-fraise est sub-acidulée mais toujours très aromatique. Si le goyavier-fraise est encore très peu cultivé, le goyavier est une espèce fruitière très populaire dans de nombreux pays (sub)tropicaux ; notamment en Amérique (centrale et du Sud), en Inde et en Thaïlande.

Il existe de nombreuses variétés de goyaves : environ 150 sont dénombrées à travers le monde. Elles sont principalement d'origines brésilienne, hawaïenne et américaine). Certaines sont piriformes, d'autres plus rondes. Leur peau est généralement de couleur jaune à maturité et la pulpe peut être de couleur blanche, rose, rouge ou jaune

clair. Les goyaves sont riches en vitamines C (200 à 250 mg suivant les cultivars, l'environnement et les techniques culturales). Deux variétés de goyave-fraise sont connues ; elles se distinguent par la couleur de leur épiderme ; l'une est rouge, l'autre est jaune. La reproduction facile par graines des goyaviers a très largement contribué à la diversité variétale actuelle (seulement 70 % des plants issus d'un semis retransmettent fidèlement les caractéristiques du pied mère). Afin de garantir les qualités des variétés sélectionnées, la multiplication végétative est donc obligatoire (le bouturage est préféré au greffage).

Les goyaviers prospèrent sous des climats variés, tropicaux, subtropicaux et méditerranéens. Ils sont indifférents à la nature du sol tant que celui-ci est humide et bien drainé. Ils s'accommodent des zones où la pluviométrie oscille entre 1 000 et 4 000 mm/an (1 500 mm/an étant l'optimal) et où les températures sont comprises entre 15 et 32°C (les jeunes arbres gèlent à - 2°C). Cette rusticité contribue à la naturalisation de ces espèces dans les régions où elles sont introduites.

Les densités de plantation dépendent de la variété, mais aussi de l'écologie. Elles sont de l'ordre de 150 à 250 arbres par hectare pour le goyavier mais beaucoup plus serrées pour le goyavier-fraise (1,5 x 4 m, sous forme de haies fruitières). La fructification commence trois à quatre ans après le semis, plus tôt si les plants sont issus de boutures. Les goyaviers ont une durée de vie courte (quinze à vingt-cinq ans). La taille des goyaviers a pour objectif de limiter le développement des arbres afin de faciliter les autres opérations culturales. La réaction du goyavier à la taille se traduit bien souvent par une émission de pousses florifères. Les floraisons peuvent être déclenchées par des apports d'azote, ce qui permet de prévoir plus facilement les récoltes (délais floraison-récolte de cent à deux cent vingt jours en fonction des écologies). Les goyaviers sont sensibles à de nombreux parasites ; ils ne lui sont généralement pas spécifiques. Les différentes mouches des fruits causent d'importants dégâts dans certaines régions. Les rendements peuvent atteindre 20 à 40 t/ha pour le goyavier et 10 t/ha pour le goyavier-fraise. Les fruits ne se conservent que quelques jours à 8-10°C. Cette durée peut être allongée grâce à des emballages adaptés en polyéthylène (deux semaines). Les goyaviers produisent des fruits de qualité (de grande valeur nutritionnelle) mais malheureusement hautement périssables, ce qui les rend difficiles à valoriser en dehors des zones de production, du moins en fruits frais.

● **Le grenadier (fruit : grenade)**

Punica granatum

Anglais : pome granate

Espagnol : granada

Famille des Punicaceae

La grenade est consommée crue ou en jus ; ce dernier donne le sirop de *grenadine*. Le jus est riche en potassium, phosphore, chlore et soufre. Sa teneur élevée en tanin lui confère de nombreuses vertus médicinales (contre les états inflammatoires).

Les climats subtropicaux sont particulièrement favorables au grenadier, originaire d'Europe du Sud-Est. C'est une espèce rustique par excellence. Cependant, une humidité importante peut causer préjudice à sa fructification (mauvaise floraison et qualité organoleptique inférieure des fruits).

De nombreuses variétés existent et se distinguent entre autres par la couleur de leurs fruits ; elles se multiplient facilement par bouturage ou greffage. Les densités de plantation varient entre 600 et 1 000 arbres par ha (2 m x 5 m) et le rendement entre 10 et 20 t/ha. Sous les tropiques, la floraison et la fructification sont étalées tout au long de l'année. Les fleurs peuvent être autofécondées. Les problèmes phytosanitaires sur les fruits sont importants (ravageurs et maladies fongiques), mais facilement maîtrisés. La récolte des grenades se fait au sécateur (pédoncule ligneux). L'éclatement des fruits est souvent la conséquence d'une irrigation mal suivie.

● **Le jacquier (fruit : jacque)**

Anglais : jackfruit

Espagnol : jaca

Artocarpus heterophyllus Lam.

Famille des Moraceae

Le fruit du jacquier peut peser plusieurs kilos. Sa pulpe est généralement consommée crue et fraîche lorsqu'elle est bien mûre. Elle peut aussi être conservée en sirop ou confite. Si l'odeur du fruit est particulière, sa saveur n'est pas pour autant désagréable; elle est très sucrée (20 %). Les graines sont comestibles après cuisson (goût de châtaigne). Enfin, le jeune fruit peut être utilisé comme légume. Le bois du jacquier, serré, veiné et au cœur jaune, est apprécié en ébénisterie.

Originnaire d'Inde, cette espèce prospère dans les zones chaudes et humides, mais s'acclimate aussi aux régions plus sèches. Elle se multiplie par graines qui transmettent fidèlement les caractères du pied mère. Quelques variétés existent en Asie où cette espèce est très largement plantée (40 000 ha en Thaïlande). Deux groupes de cultivars se distinguent, l'un à pulpe molle et l'autre à pulpe ferme. La phase juvénile des arbres peut être longue, de trois à huit ans. L'espèce est affectée par de nombreuses maladies (dont une maladie bactérienne, *Erwinia carotovora*) et ravageurs (les borers causent d'important dégâts).

Ce fruit a une place de choix dans les pays où des périodes de disette sont fréquentes. Par contre, sa forte odeur, sa grosseur et sa conservation limitée ne le prédestinent guère à un marché d'exportation hors des zones de connaissance du fruit.

● **Le jamblong**

Syzygium cumini (L.) Skeels

Anglais : jambolan

Famille des Myrtaceae

Le jamblong est consommé à l'état mûr et frais ou après trempage dans l'eau salée. Au fur et à mesure que la maturité avance, l'astringence du fruit disparaît. En Inde, il est utilisé pour la préparation de vin et de vinaigre. Les graines ont un usage médicinal. L'arbre, de grand développement (20-30 m), est résistant aux vents (utilisation en brise-vent) et est parfois associé au caféier (arbre d'ombrage). Cette espèce affectionne les climats chauds et moyennement humides (1 000-2 000 mm/an). Elle se multiplie généralement par semis, plus rarement par marcottage (ou greffage).

Même s'il existe une grande diversité liée aux populations d'arbres de semis, peu de variétés sélectionnées sont connues. Des distances de plantation de 8 à 10 m entre arbres doivent être respectées. Un jamblong adulte (sept à huit ans pour les francs) peut porter jusqu'à 100 kg de fruit. Hormis les mouches des fruits, peu de maladies ou ravageurs affectent cette espèce.

Le jamblong est très populaire dans les régions de production ; son fruit fait parfois l'objet d'une commercialisation sur les marchés. Ce dernier est cependant très fragile et hautement périssable. La transformation semble être le seul créneau de valorisation potentiel (jus ou vin).

● **Le jujubier (fruit : jujube)**

Ziziphus mauritiana Lamarck

Anglais : jujube

Espagnol : azufaita

Famille des *Rhamnaceae*

Les fruits du jujubier sont mangés frais ou séchés. Ils sont riches en sucre (30 %) et en vitamines (A et C). Les utilisations médicinales sont nombreuses. Les arbres servent aussi à faire des haies ou des brise-vent. Le bois, au cœur rouge, est facile à travailler et à polir.

Originaire d'Asie centrale, le jujubier est aujourd'hui très répandu en Afrique semi-aride et autour de la Méditerranée. C'est une espèce rustique et frugale, qui supporte les fortes chaleurs et la sécheresse. Elle se contente d'une faible pluviométrie, de 150 à 500 mm d'eau par an, et préfère des sols sableux et caillouteux.

Les variétés sélectionnées sont multipliées par greffage (à l'anglaise compliquée) sur des plants issus de graines ; le marcottage et le bouturage sont également possibles. Les arbres commencent à fructifier vers la quatrième année suivant la plantation et atteignent leur plein rendement dès la dixième année. Quelques ravageurs affectent l'espèce et une mouche (*Carpomya vesuviana*) lui est même spécifique.

Le jujubier contribue à la diversification alimentaire des populations des zones arides grâce à ses fruits d'une haute valeur nutritionnelle, comparable à celle de la banane ou de la datte lorsqu'ils sont séchés.

● **Le longanier (fruit : longani ou œil du dragon)**

Dimocarpus longan (Lour.) Steud.

Anglais : longan

Espagnol : longana

Famille des *Sapindaceae*

Le longanier porte ses fruits en grappe, comme son cousin le litchi. La graine, noire anthracite, est entourée d'un arille translucide charnu (d'épaisseur très variable selon les variétés) à saveur délicate, très différente de celle du litchi. Le fruit est consommé cru ou transformé (jus, conserve). Cette industrie de transformation est très importante dans les grands pays producteurs (Asie).

Le longanier est moins exigeant que le litchi sur le plan climatique ; il résiste mieux à la sécheresse et aux températures basses. Deux à trois mois à 15-22°C lui sont d'ailleurs nécessaires pour induire une bonne floraison. De nombreuses variétés améliorées existent ; elles sont multipliées par greffage ou par marcottage. Elles sont sélectionnées principalement sur le pourcentage de partie comestible du fruit.

Les porte-greffes sont issus de graines, lesquelles ont un pouvoir germinatif très court (sept à dix jours). Selon les écologies, des distances minimales de plantation de 7 à 10 m entre arbres doivent être respectées. À dix ans, un arbre peut porter jusqu'à 190 kg de fruit. Ce fruit est encore peu connu en dehors de sa zone de production ; sa courte durée de vie après récolte l'empêche d'être mieux valorisé en fruit frais.

● **Le mangoustanier (fruit : mangoustan)**

Garcinia mangostana L.

Anglais : mangosteen

Espagnol : mangostan

Famille des *Clusiaceae*

La réputation du mangoustan n'est plus à faire : il est souvent surnommé le roi des fruits tropicaux. Le fruit est consommé tel quel, sa chair est fondante et d'excellente qualité. C'est une espèce de tout premier ordre dans certains pays (Thaïlande, Malaisie). Cependant, ce fruit demeure encore mal connu et sous-exploité. L'espèce est pourtant présente dans de nombreux pays de la zone tropicale mais son développement à grande échelle a certainement été freiné par une contrainte culturelle importante : sa longue phase juvénile (entre sept et douze ans).

Le semis (graine issue d'un fruit parthénocarpique, génétiquement stable) est encore la méthode la plus utilisée pour multiplier le mangoustanier. Le greffage, le bouturage ou la culture *in vitro* n'ont toujours pas donné de résultats. Le pouvoir germinatif des graines est très court (quelques jours). Le mangoustanier affectionne les climats chauds (25 à 30 °C) et humides (2 000 à 3 000 mm d'eau par an). L'association avec des bananiers peut s'avérer judicieuse durant les premières années de culture, ceux-ci fournissant un ombrage bénéfique aux jeunes mangoustaniers. Peu de ravageurs et maladies affectent cette espèce. Les piqûres d'insectes provoquent cependant des exsudations de latex jaune qui déprécient le fruit.

● **Le naranjille**

Solanum quitoense Lam

Anglais : Escador's naranjille

Espagnol : lullo

Famille des *Solanaceae*

Le fruit, orange vif ou jaune d'or, est recouvert de petits poils. La pulpe du fruit est translucide, juteuse et de couleur verdâtre. Elle est très aromatique (entre la fraise et l'ananas) et de saveur douce acidulée. Des boissons, des confitures et des pâtisseries peuvent être confectionnées à partir de cette pulpe.

C'est un arbuste semi-herbacé pouvant atteindre 2,50 m de hauteur. Ses feuilles sont caractéristiques, de couleur verte avec des nervures violacées dessus et de couleur blanche ou violacée dessous. Deux groupes de variétés existent, l'un adapté à des climats subtropicaux (*S. quitoense* var. *septentrionale*) et l'autre à des zones plus chaudes (*S. quitoense* var. *quitoense*).

La multiplication se fait par graines, par boutures ou par greffage. Celui-ci est réalisé sur *S. torvum* ou *S. macranthum*, espèces réputées résistantes aux nématodes (la naranjille y est très sensible). La plantation peut être réalisée à haute densité (2 m x 1,70 m). Des rendements de 3 à 5 kg de fruits par arbre peuvent être obtenus (9 à 15 t/ha). Hormis les nématodes et les aleurodes, peu de ravageurs sont encore répertoriés.

Cette espèce est manifestement méconnue, seuls quelques pays sud-américains s'y intéressent véritablement. La transformation industrielle en jus devrait lui assurer un bon avenir.

● **Le néflier du Japon (fruit : bibasse)**

Eriobotrya japonica Lindl.

Anglais : loquat

Espagnol : nispero del Japon

Famille des *Rosaceae*

Les nèfles du Japon sont généralement consommées fraîches à parfaite maturité. Elles sont juteuses, plus ou moins sucrées selon la variété et riches en vitamine A et en potassium.

Le néflier du Japon est une espèce rustique des climats subtropicaux. Sa fructification est rare dans les régions où les températures descendent en dessous de 0°C et le feuillage gèle à - 10°C. Les terres compactes trop humides lui sont défavorables ; il supporte par contre les sols calcaires. Les nombreuses variétés sont multipliées par greffage sur des pieds francs ou sur cognassiers. Ces cultivars sont classés en deux types : le type chinois (gros fruit en forme de poire et à chair jaune) et le type japonais (fruits plus petits en forme de pomme et à chair jaune pâle, blanchâtre).

Les plantations sont réalisées à des densités comprises entre deux cents et trois cents arbres par hectare. Les problèmes phytosanitaires sont peu importants, mais la prévention est de mise (tavelure et mouche des fruits). Les rendements peuvent dépasser les 20 t de fruits/ha. Il est parfois nécessaire de limiter le nombre de fruits par grappe (huit à dix) pour favoriser leur grosseur plutôt que leur nombre.

L'épiderme des nèfles est extrêmement fragile, ce qui nécessite un emballage approprié et soigné dès la récolte. C'est la plus grande contrainte de cette culture.

● Les noix tropicales

Tableau 25. Les variétés de noix tropicales

Nom français	Nom anglais	Nom espagnol	Nom latin	Famille
Le noyer du Queensland Macadamia	Queensland nut	Nuez de macadamia	<i>Macadamia ternifolia</i> F. Muell	Proteaceae
Le noyer du Brésil Noix du Brésil	Para nut	Nuez de Brasil	<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	Lecythidaceae
Le pacanier Noix pacane	Pecan	Pacana	<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh) C.Koch	Juglandaceae
Le badamier Amande des Antilles	Tropica ou India	Almendron	<i>Terminalia catappa</i> L.	Combretaceae

Les différentes espèces de noix tropicales sont caractérisées par des teneurs en matière grasse élevées. C'est la noix du Queensland qui en contient le plus (78 %).

Le badamier

Le fruit du badamier (*Terminalia catappa*) a une peau tendre et une fine couche de chair comestible au goût sub-acide (vert, ce fruit peut être utilisé comme un cornichon). En dessous, une coque épaisse à l'aspect de liège contient l'amande des Antilles, difficile à extraire. Elle est de saveur douce et agréable rappelant la noisette. Cette amande donne une huile de qualité présentant l'avantage de ne pas rancir.

Le macadamia

La coquille entourant l'amande du macadamia (*Macadamia ternifolia*) est extrêmement dure et épaisse, difficile à casser. L'amande, de saveur douce et fine, a une très grande valeur nutritive (huile, calcium, phosphore et vitamine B1) et contient 9 % de protéines et d'hydrates de carbone. Elle est généralement consommée telle quelle. Certaines confiseries américaines la valorisent en l'enrobant de chocolat. Le noyer de Queensland est aujourd'hui cultivé à grande échelle dans de nombreux pays (Australie, Hawaii, Afrique du Sud...).

La noix du Brésil

L'amande de la noix du Brésil (*Bertholletia excelsa*) a le goût de la noix de coco sans avoir une saveur aussi marquée. Elle est riche en énergie, en matière grasse (65 %), en phosphore et en acides aminés soufrés. Elle rancit facilement. Les amandes sont enfermées dans une coque triangulaire, marron, coriace. Ces coques sont elles-mêmes logées au nombre de vingt-cinq à quarante au sein d'un gros fruit de 2 à 3 kg, indéhiscent, à paroi très épaisse et dure. Ce noyer est un des plus grands arbres de la forêt vierge de l'Amérique du Sud tropicale. Le Brésil est le principal pays producteur et exportateur de noix du Brésil.

Le pacanier

Le fruit du pacanier (*Carya illinoensis*) est allongé, de 3 à 4 cm de long. Il renferme une noix lisse, brune, recouverte d'une coque mince qui se casse facilement entre les doigts. Cette noix contient une amande, de saveur douce et agréable, rappelant la noix d'Europe. Elle est consommée crue, séchée ou utilisée en confiserie.

Elle est très digeste. Le pacanier fait l'objet d'une culture intensive dans certains pays, notamment aux États Unis.

Le badamier et le noyer du Brésil sont des espèces purement tropicales, les arbres ont généralement un grand développement, certains sujets pouvant dépasser 50 m de haut. Le badamier n'est généralement pas cultivé pour son fruit, ce dernier étant sous-valorisé. Sa valeur ornementale (arbre d'ombrage) et son bois contribuent à sa diffusion. Le noyer du Queensland s'adapte à de nombreuses écologies, aussi bien tropicales que subtropicales (des températures inférieures à 18 °C sont cependant nécessaires pour l'induction florale). Les exigences du pacanier sont strictement celles d'une espèce de climat subtropical. Les références agronomiques sur le badamier et le noyer du Brésil étant quasi inexistantes, nous n'aborderons que les techniques de culture du pacanier et du noyer du Queensland.

La multiplication par semis de ces espèces est à réserver à la production de porte-greffes. De très nombreuses variétés existent aussi bien pour le pacanier que le macadamier ; elles sont multipliées par greffage (fente simple ou à l'anglaise compliquée). Même en conditions optimales, la croissance du pacanier est lente : phase juvénile entre six et huit ans pour des arbres greffés, au-delà de dix ou douze ans pour des arbres de semis. Le noyer du Queensland a une croissance plus rapide : des premières fructifications à l'âge de quatre ans peuvent être obtenues. Les distances de plantation entre arbres dépendent de la climatologie mais aussi des variétés (les ports des arbres varient beaucoup). Des espacements de 10 m sont communs ; les macadamiers peuvent être cependant plantés plus serrés (5 x 7 m). Des tailles régulières sont absolument nécessaires pour limiter le développement des arbres en hauteur et augmentent leur productivité.

Les maladies et ravageurs du macadamier sont nombreux : près de cent cinquante ont été dénombrés dans les pays producteurs. Ils s'attaquent à toutes les parties de la plante mais aucun ne semble être incurable. Les fruits sont généralement ramassés à terre, manuellement ou mécaniquement. L'exploitation des noix du Queensland nécessite une industrialisation, la coque étant trop dure pour une vente telle quelle. La noix de pacane n'a pas cet inconvénient. Ces espèces ont une très bonne valeur commerciale, et le marché international des noix est loin d'être saturé.

● **Le palmier pêche**

Guilielma gasipaes Bailey

Anglais : peach-palm

Espagnol : pejobaye

Famille des *Arecaceae*

Le palmier pêche est intéressant pour plusieurs raisons : d'une part, les fruits et le cœur sont comestibles et, d'autre part, c'est un palmier multipliant : la coupe d'un des troncs pour exploiter le cœur n'entraîne pas la mort entière de l'arbre (à la différence d'autres palmiers cultivés pour leur cœur). Le fruit, très énergétique, se consomme cuit dans de l'eau salée. Sa saveur rappelle celle de la châtaigne. L'amande est consommée crue ou cuite (goût de noix de coco). Cette espèce est surtout connue pour son excellent cœur de palmier, le palmito. L'exploitation industrielle de ce dernier est très importante dans certains pays, comme le Costa Rica.

Le palmier pêche affectionne particulièrement les climats chauds et humides. Il se multiplie principalement par ses graines, qui demandent entre soixante et quatre-vingt-dix jours pour germer. La multiplication végétative (par sevrage des rejets, culture *in vitro*, etc.) semble mal maîtrisée. Le tronc est généralement extrêmement épineux ; certaines variétés, plus rares, sont par contre totalement inermes. Pour la production de fruits, les distances de plantation sont de 5 à 6 m entre les arbres ; pour la production de palmito, la plantation est plus serrée (2 m x 1 m). L'espèce est sensible aux attaques de maladies, telles les *Phytophthora*, *Colletotrichum*...

● **Le plaqueminier (fruit : kaki)**

Diospyros kaki L.

Anglais : persimmon

Espagnol : caqui

Famille des Ebenaceae

Le kaki est consommé frais. Il est parfaitement mûr lorsqu'il est blet ; sa saveur est alors très douce. La pulpe entre aussi dans la fabrication de confitures, de glaces, etc. Les fruits de certaines variétés peuvent être séchés. Le bois du plaqueminier, très dur, sert à réaliser les têtes des clubs de golf. Les très nombreuses variétés (plus de 2 500) sont classées en trois groupes : le premier donne des fruits astringents et non comestibles, le deuxième produit des fruits non astringents et comestibles (la qualité des fruits de ces deux groupes est étroitement liée à la pollinisation), le troisième ne donne des fruits comestibles que s'ils contiennent de nombreuses graines.

Le plaqueminier est une espèce de climats subtropicaux. Il survit à des températures de - 18°C. Il résiste aux vents et à la sécheresse. Une irrigation régulière est cependant prépondérante durant le grossissement des fruits. Les cultivars sélectionnés sont multipliés par greffage. Les densités de plantation sont généralement comprises entre 400 et 650 arbres/ha. Au Japon, les rendements varient selon les variétés entre 20 et 70 t de fruits/ha. Les fruits se conservent entre deux et quatre mois à basse température (- 1°C à + 1°C) ; c'est un atout important pour le développement et la valorisation de cette espèce.

● **La poire d'eau ou jamalac**

Syzygium samarangense Merr. et Perry

Anglais : water apple

Espagnol : jambosa domestica

Famille des Myrtaceae

Le fruit a la forme d'une petite poire, rouge rosé ou jaune à maturité. Sa pulpe est douce mais de consistance spongieuse. Le jamalac est souvent confondu avec le jambos (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. et Perry), espèce très voisine. Le jambos se distingue par ses fleurs rouges, ses inflorescences pour la plupart latérales et ses feuilles dont la base est en forme de coin. Ses fruits sont rouge sombre.

Le jamalac préfère les climats tropicaux chauds et humides (au moins 1 500 mm d'eau/an). Cette espèce se multiplie par semis (les graines sont rares ou souvent avortées) ou par marcottes.

Le jamalac ne porte ses fruits qu'au bout de sept ans, plus tôt si le plant est issu d'une marcotte. Les distances de plantation doivent être lâches compte tenu du développement important de l'arbre (8 m x 10 m). Des rendements de 20 à 85 kg de fruits par arbre sont rapportés en Asie. Cette espèce, populaire mais jusqu'ici peu étudiée, ne semble avoir d'intérêt qu'en tant qu'arbre de jardin dont les fruits sont parfois vendus sur les marchés locaux.

● **La pomme-rose ou jambrosade**

Syzygium jambos (L.) Alston

Anglais : roseapple

Espagnol : pomarosa

Famille des *Myrtaceae*

Le jambrosade donne des fruits sucrés, avec un goût de rose très prononcé. Les fruits peuvent servir à la confection d'eau de vie à odeur de rose surprenante. L'écorce de cet arbre passe pour être astringente ; quelques vertus médicinales lui sont attribuées (tonique, diurétique). C'est une espèce mellifère.

Le jambrosade préfère les climats chauds et humides ; il peut néanmoins s'adapter à des climats plus secs mais aussi plus frais (subtropicaux). C'est un arbre de taille moyenne, atteignant 10 m de hauteur. Il se multiplie aisément. Tombées au sol, ses graines germent facilement et la souche produit de nombreux rejets. L'humus qu'il produit possède des propriétés inhibitrices empêchant la régénération des plantes indigènes (dans les contrées où il a été introduit, le jambrosade est souvent considéré comme une *peste végétale*). Les espacements de plantation doivent être compris entre 5 et 6 m. Les arbres de semis commencent à produire vers quatre ou cinq ans. Ils produisent *a priori* peu (une seule référence : 2 kg/arbre/an en Inde).

Le fruit est très fragile et ne se conserve que quelques jours. Ces caractéristiques semblent limiter les possibilités de valorisation de cette espèce, du moins en fruit frais.

● **Le pommier de Cythère (ou evi) et les pruniers de Cythère (ou mombin)**

Spondias dulcis Foster

Anglais : great hog plum

Famille des *Anacardiaceae*

Spondias mombin L. et *S. purpurea* L.

Français : prunier de Cythère

Anglais : hogplum, red mombin

Espagnol : jobo

Famille des *Anacardiaceae*

La pomme et les prunes de Cythère peuvent être consommées fraîches. Les fruits verts sont aussi utilisés en salade. Lorsqu'elles sont bien mûres, les prunes ont une odeur si caractéristique (subtile, persistante et prédominant sur le goût) qu'une transformation en jus, en sorbet ou en punch est toute indiquée. Les deux prunes se distinguent facilement par leurs couleurs : les fruits du *S. mombin* sont jaunes tandis que ceux de *S. purpurea* sont rouges.

Les trois espèces ont un fort développement ; certains arbres peuvent dépasser 25 m de haut, dans des conditions optimales de croissance (climat chaud et humide). Ce caractère gêne considérablement les opérations de récolte. Un étêtage permet de limiter la hauteur des arbres tout en favorisant le développement de branches latérales. Une variété naine de pommier de Cythère existe : les arbres n'atteignent guère les deux mètres à l'âge adulte mais les fruits sont plus petits (- 30 % par rapport aux autres variétés). Les différentes variétés de pommier de Cythère sont généralement multipliées par semis, le caractère nain étant stable. Les pruniers peuvent aussi être multipliés par semis. Cependant les graines de certaines variétés de *S. purpurea* sont stériles et les meilleures variétés sont greffées ou bouturées.

● **Le quenettier (fruit : quenette)**

Melicococa bijuga L.

Anglais : genip

Espagnol : quenepa

Famille des Sapindaceae

Les fruits du quenettier sont regroupés en grappe, comme les litchis. La peau du fruit ne change pas de couleur à maturité : elle reste verte mais devient cassante. Cette peau, épaisse, permet aux fruits de se conserver plusieurs jours à température ambiante. La chair est gélatineuse, juteuse, de couleur jaune ou saumonée. L'arille est par contre très adhérent à la grosse graine. Le fruit est consommé la plupart du temps cru ; l'amande de la graine est, quant à elle, mangée grillée.

Originaire d'Amérique du Sud, le quenettier est un grand arbre à croissance et à fructification lente (les arbres de semis peuvent demander quinze à vingt ans avant de fructifier). Les variétés sélectionnées (notamment de Floride et de Porto Rico) sont multipliées par greffage ou marcottage. Ce type de multiplication réduit notablement la phase juvénile de l'arbre. C'est une espèce principalement dioïque. Des pieds mâles et femelles sont donc absolument nécessaires pour s'assurer d'une bonne fructification : les pollinisations croisées sont facilitées par le caractère mellifère des fleurs. L'espèce est peu sujette aux maladies et ravageurs. Cette espèce semble n'avoir d'intérêt que dans les zones écologiques où ses cousins, le litchi et le longan, prospèrent mal.

● **Le sapotillier ou arbre à chewing-gum**

Manilkara zapota (L.) P. Royen

Anglais : naseberry

Espagnol : sapodilla

Famille des Sapotaceae

Le fruit du sapotillier doit être consommé bien mûr et même blet. La pulpe du fruit est très sucrée et d'excellente saveur ; elle est souvent transformée (jus, sorbet, sirop...). L'arbre a été cultivé pour sa gomme : un latex s'écoulant de l'écorce contient 25 à 50 % de chiccle utilisé dans la fabrication du chewing-gum. L'écorce serait un astringent puissant utilisé en médecine traditionnelle.

Cette espèce affectionne les climats chauds à pluviométrie assez bien répartie. Il résiste bien au vent et tolère les embruns. Les jeunes arbres ont besoin d'un arrosage abondant durant la saison sèche. Deux groupes de variétés existent selon la forme ronde ou ovale du fruit. Les nombreuses sélections indonésiennes ou australiennes sont multipliées par marcotte ou par greffage (porte-greffes issus de semis). Pour le greffage, les jeunes plants doivent être conditionnés en incisant l'écorce juste au-dessus de l'endroit où la greffe sera effectuée, de manière à laisser s'écouler le latex avant l'opération. La croissance de l'arbre est assez lente ; les marcottes et les plants greffés commencent à produire vers cinq ans.

Les très bonnes qualités organoleptiques de ce fruit pourraient offrir à cette espèce de réelles perspectives de développement. Seule sa méconnaissance est aujourd'hui un frein.

● **Le tamarinier (fruit : tamarin)**

Tamarindus indica

Anglais : tamarind

Espagnol : tamarindo

Famille des Cesalpiniaceae

À maturité, la pulpe sucrée et acidulée des fruits du tamarinier est riche en acides organiques, en calcium (taux exceptionnellement élevé pour un fruit), en phosphore et en sucre (jusqu'à 40 % pour certaines variétés). Cette pulpe entre dans la composition de boissons, de sirops ou encore de pâtes de fruits. Les fruits verts et les fleurs sont aussi consommés. Le tamarinier peut servir d'arbre de reboisement ; c'est un bon bois de chauffage et d'ébénisterie. Les utilisations médicinales traditionnelles sont nombreuses : il faciliterait notamment la digestion.

Probablement originaire d'Afrique tropicale, il est aujourd'hui intensivement cultivé en Asie et depuis peu en Amérique. C'est une espèce rustique s'adaptant à des écologies très diverses ; il craint cependant l'humidité stagnante et les sols asphyxiants. Son enracinement puissant lui permet de résister à des vents violents mais aussi à des périodes de sécheresse prolongée.

Le tamarinier se multiplie par semis, par marcottage mais aussi par greffage. Son grand développement impose de respecter des distances de plantation entre arbres de 10 m. Les rendements oscillent entre 10 et 15 t de fruits à l'hectare. Différents ravageurs et maladies affectent le tamarinier, certains pouvant causer d'importants dégâts.

● **La tomate en arbre (fruit : tamarillo)**

Cyphomandra betacea Mart. Et Sendt.

Anglais : tree tomato

Espagnol : tomate de arbol

Famille des Solanaceae

Cette *tomate* se prête à de nombreuses utilisations culinaires. Elle doit être pelée car la peau est épaisse et amère. Elle se consomme en frais ou transformée en jus. Les fruits ont une bonne teneur en vitamines A et C. Deux grands types de fruits existent : les uns rouges et les autres jaune orangé.

C'est une espèce rustique qui s'adapte à de nombreuses écologies. Les climats subtropicaux lui conviennent cependant mieux (des températures nocturnes basses influent directement sur la qualité des fruits). Le feuillage gèle à - 3°C. C'est une espèce qui nécessite des sols légers et bien drainés.

L'arbre à tomate est le plus souvent multiplié par semis. Cependant, les variétés sélectionnées le sont par bouturage. Les arbustes obtenus forment des buissons de 3 à 5 m et fructifient après un an et demi. Leur durée de vie n'excède pas dix ans. Les densités de plantation sont comprises entre 1 000 et 1 700 plants/ha (1,5-2 m x 4-5 m). Quelques ravageurs (nématodes, pucerons...) et maladies (*Phytophthora*, *Pseudomonas syringae*, mosaïques virales...) affectent cette espèce. Les maladies virales sont particulièrement importantes compte tenu du mode de multiplication de l'espèce.

Les rendements peuvent atteindre rapidement 20 t/ha. Les fruits ne se conservent que quelques jours à température ambiante mais deux à trois mois à 3,5-4,5 °C.

Bibliographie générale sur les fruits tropicaux

- BARBEAU G., 1990. - *Frutas tropicales en Nicaragua*. Editorial Ciencias Sociales, Dirección General de Técnicas Agroppecuarias, Managua (Nicaragua)
- JESUS HOYOS F., 1989. - *Frutales en Venezuela (nativos y exóticos)*. Sociedad de Ciencias Naturales, Caracas (Venezuela).
- LAVILLE E., 1994, *La protection des fruits tropicaux après récolte*. CIRAD-COLEACP, 189p.
- LE BELLEC F. et RENARD V., 1997. - *Le grand livre des fruits tropicaux*. Orphie Editions, France.
- NAKASONE H.Y. and PAULL R.E., 1998. - *Tropical Fruits*. C.A.B. International, USA.
- PLOETZ R.C. et al., 1994, - *Compendium of Tropical Fruit Diseases*, APS Press.
- TERNISIEN A. 1997. - *Un jardin tropical, guide pratique*. Gondwana Editions. France.
- TRISONTHI C., 1992. - *Description et clé d'identification de quelques fruits tropicaux comestibles*. Fruits, 47 (5), pp. 591-610.
- VERHEIJ E.W.M. and CORONEL R.E., 1992. - *Plant Resources of South-East Asia*. PROSEA, Indonesia.
- VON MAYDELL H.J., 1983. - *Arbres et arbustes du Sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 531 p.
- ZUANG H., BARRET P. et BEAU C., 1988. - *Nouvelles espèces fruitières*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), Paris (France), 182 p.

Bibliographie sur des espèces particulières

Les agrumes

- AUBERT B., VULLIN G., 1997, *Pépinières et plantations d'agrumes*. Collection Techniques du CIRAD, 184p.
- GRISONI M. et col., 1993, *La culture des agrumes à l'île de la Réunion*. CIRAD-FLHOR, 102 p.
- OLLITRAULT P., et col. 1999. *Les agrumes* in : Diversité génétique des plantes tropicales cultivées, Collection Repères CIRAD, pp 89-111.
- Site Internet : <http://www.corse.inra.fr/sra/egide.htm>

L'anacardier

- KROOL, R., 1996, *Les petits fruits*, Paris : Maisonneuve & Larose (Le technicien d'agriculture tropicale, 35).

L'ananas

PY C., LACOEUILHE J.J., TEISSON C., *L'ananas : ses produits, sa culture*. 1984. Ed Maisonneuve & Larose. Paris.

PINTO DA CUNHA G.A., CABRAL J.R.S., DA SILVA SOUZA L.F., *O Abacaxizeiro*. 1999. Ed EMBRAPA.

Les bananes

FAO, 1991. *Racines, tubercules, plantains et bananes dans la nutrition humaine*.

GOWEN, S., CHAPMAN & HALL, 1995. *Bananas and plantains*. GB

INIBAP, 1990. *Sigatoka leaf spot diseases of bananas*.

INIBAP, 1998. *Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire*. Symposium international, Douala, Cameroun, 10-14 novembre 1998.

INIBAP, 1999. *Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa*.

JONES D.R., 1999. *Jones Diseases of banana, abaca and enset*. CABI Publishing, GB

La qualité de la banane. La réglementation française et son interprétation. CIRAD IRFA et ministère de l'Agriculture, 75 p. Paris

PLOETZ R.C., 1990. *Fusarium wilt of banana*. APS press USA

SICABAM, 1998. *Le manuel du planteur*.

STOVER, RH., SIMMONDS NW., LONGMAN, 1983. *Bananas*. 3rd edition. GB

TEZENAS DU MONTCEL, H., 1985. *Le bananier plantain*. Maisonneuve & Larose, Paris.

WARDLAW C.W., LONGMAN, 1972. *Bananas diseases including plantains and abaca*. 2nd edition. GB.

Le litchi et le rambutan

COSTES E., 1988, *Analyse architecturale et modélisation du litchi (Litchi Chinensis) Contribution à l'étude de son irrégularité de production à l'île de la Réunion*, Thèse pour l'obtention du diplôme de Doctorat soutenue le 13 juin 1988, 258 p.

DELABARRE Y., *Synthèse bibliographique sur le Ramboutan ou litchi chevelu (Nephelium lappaceum)*, Fruits, jan.1989, vol 44 n°1, p.33-44.

DIDIER C., 1999, *Réalisation d'un guide technique (projet FAO GCP/RAF/244/BEL)* 155 p

The cultivation of Litchis In South Africa, Institute for tropical and subtropical crops, Agricultural research council Bulletin 425 1992.

Le manguiier

LITZ R.E. (ed.) *The Mango : Botany, Production and Uses*, CAB International, 1998.

MARCHAL J., *Les manguiiers*, in L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Col Technique et Documentation Lavoisier, 1984, chap 9, pp 399-411.

Surveillance phytosanitaire des manguiiers à l'île de la Réunion, ministère de l'Agriculture, 1998.

Le papayer

DIDIER C., *Guide technique FAO 1998*.

JOSE ALBERTO JIMENEZ DIAZ. *El cultivo de la papaya Hawaiiiana* 1996 110 p.

LASSOUDIÈRE A., FROSSARD (P. *Le Papayer* - Numéro spécial Fruits Vol. 24, n°11-12, nov-déc. 1969.

Les espèces secondaires

AZAM B., LAFITTE F., OBRY F. et PAULET J.L., 1981. – *Le feijoa en Nouvelle-Zélande*. Fruits, 36 (6), pp.361-380.

BARBEAU G., 1990. *La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique*. Fruits, 45 (2), pp. 141-174.

GUEVARA E. et CASTILLO G., 1999. – *Facteurs affectant la croissance, la floraison et la production du macadamier (Macadamia integrifolia) en conditions tropicales*. Fruits, 54 (1), pp. 31-48.

JOAS J., 1982. - *Les mombins : des possibilités technologiques intéressantes*. Fruits, 37 (11), 727-729.

JOUBERT A. J., 1993. – *The cultivation of Macadamias*. Agricultural Research Council, Pretoria (South Africa), pp. 66.

- LENNOX A. RAGOONATH J., 1990. – *Carambola and bilimbi*. Fruits, 45 (5), pp. 497-501.
- LUPESCU F. et al, 1980. – *Performances agro-biologiques de quelques variétés d'Eriobotrya japonica cultivées à la station horticole de l'INA d'Alger*. Fruits, 35 (4), pp. 251-261.
- MIZRAHI Y., NERD A. and NOBEL P. S., 1997. – *Cacti as crop*. Horticultural Reviews. 18, pp. 291-320.
- MOREAN F. 1991. – *Mamme apple, an underexploited fruit in Trinidad and Tobago*. Fruits, 46 (6), pp.699-702.
- MUNIER P., 1973. - *Le jujubier et sa culture*. Fruits, 28 (5), pp.377-388.
- NORMAND F., 1994. – *Le goyavier-fraise, son intérêt pour l'île de la Réunion*. Fruits, 49 (3), pp.217-227.
- PANIANDY J.C., NORMAND F., REYNES M., 1999. – *Facteurs intervenant sur la conservation en frais de la goyave-fraise à l'île de la Réunion*. Fruits, 54 (1), p. 49-56.
- SANEWSKI G.M., 1991. – *Custard apples*. National Library of Australia Cataloguing-in-Publication, Queensland Government.
- URPI J.M. & ECHEVERRIA G.E. – *Palmito de Pejibaye, Su cultivo e industrializacion*. Universidad de Costa Rica. San Pedro (Costa Rica).
- VALDEVYRON G., 1984. - *La pollinisation du figuier* In : PESSON P. et LOUVEAUX J. ed., *Pollinisation et productions végétales*. Institut national de la recherche agronomique (INRA), Paris (France), pp.373-391.
- WEISS J., NERD A. and MIZRAHI Y., 1994. – *Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti whithe fruit crop potentiel*. Hortscience, 29 (12), pp. 1487-1492.
- WIEBEL J., CHACKO E.K. and DOWNTON W.J.S., 1991 - *Mangosteen, a potential crop for tropical Northern Australia*. Fruits, 46 (6), 685-688.

Les légumes

À partir des contributions de A. Caburet, P. Daly (CIRAD),
H. de Bon (CIRAD), J. Huat (CIRAD), C. Langlais (CIRAD),
J.P. Lyannaz (CIRAD), P. Ryckewaert (CIRAD)

- > L'ail
- > Les amarantes
- > L'aubergine
- > La baselle
- > La chayotte
- > Les choux chinois
- > Les choux européens (chou-fleur, chou pommé et chou vert)
- > Le chou palmiste
- > L'échalote
- > Le gombo
- > La laitue
- > L'oignon
- > Les piments
- > Le poireau
- > Le poivron
- > Les pousses de bambou
- > Le radis
- > La tomate

GÉNÉRALITÉS SUR LES CULTURES LÉGUMIÈRES

Les cultures légumières réagissent de manière spécifique aux conditions locales de température et d'insolation. Elles sont également très exigeantes en ce qui concerne les caractéristiques chimiques et physiques des sols, qui doivent être riches en matière organique et bien drainés.

En période sèche et fraîche, les légumes qui sont à la limite de leur adaptation climatique poussent mieux. À cette époque, il est nécessaire d'irriguer. En climat tropical et équatorial, ces cultures sont plus faciles à conduire dans les zones d'altitude plus fraîches.

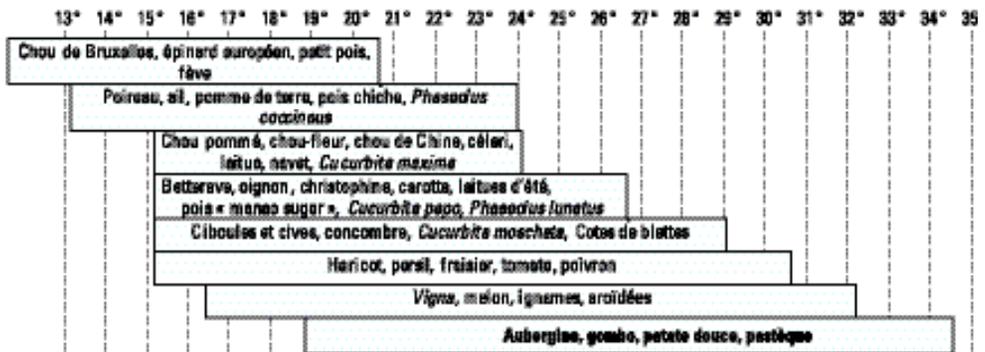
● *Les principes à respecter*

D'une manière générale, il faut respecter les principes suivants que l'on peut classer dans l'ordre chronologique d'intervention :

- > choisir un terrain :
 - proche d'un centre de consommation facilement accessible ;
 - à fertilité potentielle élevée ;
 - d'aménagement facile (planage, clôture) ;
 - irrigable avec approvisionnement facile en eau douce (3 l/s/ha en période de pointe) ;
- > établir un plan de culture, compte-tenu des débouchés et des spéculations possibles (rotation) ;
- > organiser l'approvisionnement régulier en semences, matériels et produits ;

- > préparer le sol soigneusement : dessouchement, défonçage, ameublissement superficiel soigné, fumure de fond ;
- > aménager les planches de culture et les pépinières suivant la topographie et les vents (brise-vent) ;
- > pour les espèces repiquées, il est vivement conseillé de désinfecter le sol des pépinières. L'utilisation de godets remplis de terre désinfectée est une solution efficace mais coûteuse. La confection de mottes pressées est moins onéreuse mais ces mottes sont difficiles à maintenir en climat très sec ;
- > prévoir les lieux de manutention des récoltes et de stockage des intrants et du matériel ;
- > préparer les planches pour le semis ou la plantation (émottage, ratissage) ;
- > prévoir le traitement des semences (ou, de préférence, acheter des semences traitées), du sol des pépinières (par le feu ou des pesticides ou fumigants) et des cultures en place ;
- > veiller aux façons d'entretien (éclaircissage, sarco-binage, arrosage, fumure).

Les cultures légumières exigent une grande quantité de travail par unité de surface (en moyenne 1 000 journées par hectare). Il s'agit de cultures très intensives qui demande une main d'œuvre nombreuse et exercée. On ne peut dépasser quinze ares de culture par actif.



➤ Figure 1 : Températures optimales pour la culture de divers légumes

Tableau 1. Les principales cultures légumières

Nom de la culture	Poids du litre de graines (g)	Nombre de graines dans 1 g	Longévité moyenne en ans (1)	Durée germination (jours)	Profondeur du semis (mm)	Cycle (jours)	Poids de semences de culture (g/are) (2)	Rendement (kg/are)
Arachide	400	2-3	1	5-6		100-140	600	15-30
Aubergine	500	250	6	8-15	12	140-160	3 P	150-400
Betterave	250	50	6	6-8	5-10	90-120	100-150	100-250
Carotte	350	900	4-5	4-6	12	65-90	40-60	100-300
Céleri	480	2500	8	20	2-3	150-190	1-3 P	200-500
Chicorée	340	600	10	2	12	80-120	2-10 P	80-200
Choux cabus	700	300-375	5	3-6	6-12	100-150	15-30 P	100-400
Concombre	500	35	10					
«des Antilles»	550	130	6	3-6	12-20	80-120	20-30	100-200
Courge	400-425	3-6	6	4-8	18	130	20-30	100-200
Courgette	400-425	3-6	6	4-8	18	130	20-30	200-500
Cresson Alénois	730	450	5	2	surface		120-300	100
Cresson de fontaine	580	4000	4	6-8				100-200 par coupe
Cumin de Malte	350	250	1					
Fève	620-750	0,4-0,5	6	4-5	30-40	90	3 000	400-500 (gousses) 20-30 (graines) 120-250
Gesce	750	4	5					
Gombo	620	15-18	5	8	20	80-100	30-40	40-80
Haricot	625-850	0,75-0,80	3	2-3	20-30	75 (vert) 120 (sec)	1000	20-70 (vert) 10-20 (sec)
Dolique	770	500-650	3					
Laitue	430	800	5	2-5	6-12	60-90	5-10 P	80-200
Lentille large	790	14	4	6-10			1000	10-15
Mâche d'Italie	280	1000	4	6-8	surface		60-80	50
Maïs sucré	640	4-5	2	6-8	25	60-90	300	100
Melon	360	35	5	5-8	12-20	110-150	20-30	60-150
Melon d'eau (pastèque)	460	5-6	6	6-8	20		10-30	200-400
Navet	670	450-700	5	2-3	12	50-80	25-40	100-200
Oignon	500	250	2	7-15	10	110-130	40-60 P	200-300
Oseille	650	1000	4	5-6	8-10		15 P	200 par coupe
Pak Choi	700	300	5	3-4		65-85	30 P	
Persil	500	600	3	15	6-12	65-85	40-60	200-250
Pe Tsai	700	300	5	3-4				400-600
Pissenlit	270	1200/1500	2		8-10		2 P	200-250
Poireau	550	400	3	5-15	12	120-150	60 P	100-300
Pois	700-800	2-6		5-8	35-50	105-120 135 (sec)	2000	100 ((cosses) 20/30 kg (sec)
Pois chiche	780	3		7-15	30-40		2000	
Poivron	450	150	4	8-10	12	125-150	3-10 P	50-200
Pourpier	610	2500	7	4-5		500-600		150-250
Radis rose	700	120	5	2	12	18-25	250-500	150-300
Radis gris				6	12	50-105	150	200-700
Salsifis	250	100	2	8	12	170-200	100-120	100-200
Scorsonère	260	90	2	15	12	170-200	100-150	150-200
Soja	725	78	2	6-7	90-95		750-1000	20-30
Tétragone	225	10-12	5	8-15		160-180	30-50	200
Tomate	300	300-400	4	4-6	6-12	110-160	3-5 P	60-300

(1) En condition de conservation normale, sous climat chaud et humide, les graines stockées perdent rapidement (en quelques mois) leur faculté germinative.

(2) Quantités approximatives variables suivant les densités et le système de culture adoptés, nécessaires pour semer un are ou pour produire en pépinière (P) les plants nécessaires à la plantation d'un are.

L'AIL

Allium sativum L.

Anglais : garlic

Espagnol : ajo

Portugais : alho

Famille des Liliaceae

● La plante

L'ail est un condiment originaire d'Asie centrale qui doit sa saveur à la présence d'allicine, substance bactéricide, fongicide et nématocide encore peu exploitée. Ces propriétés ne résistent pas à la cuisson, sauf l'action insecticide. On le cultive sur tous les continents.

C'est une espèce vivace dont le bulbe se compose de six à dix caïeux, séparés les uns des autres par des tuniques sèches (résidus des gaines foliaires). La hampe florale peut se développer ou non, mais elle ne fleurit pas (les fleurs avortent). On la coupe en général pour favoriser le développement du bulbe.

Les variétés tempérées ont besoin, pour renfler leurs bulbes, de jours longs (quatorze-quinze heures) précédés d'une période froide. Chez les variétés tropicales, ces exigences sont moins accusées. On peut les classer en trois groupes principaux :

- > variétés traditionnelles d'Afrique de l'Est (ramification tropicale de l'ail rose espagnol à hampes florales), très aromatiques, caïeux rouge vineux, bulbes très petits ;
- > variétés tropicales de montagne (Mexique, Pérou, Thaïlande) à gros caïeux mauves ou violets, ayant conservé un léger besoin de froid (altitude optimale 1 000-2 000 m) ;
- > variétés sud méditerranéennes et tropicales de plaine, à besoin de froid faible ou nul, à bulbes composés de nombreux petits caïeux. Une variété de ce type d'origine égyptienne, *Ramsès*, est multipliée en France pour l'exportation de bulbes de semences.

La croissance de l'ail est optimale vers 12-16°C. Il supporte mal des températures nocturnes supérieures à 17-18°C. Les climats propices se situent à des latitudes de 20-25°C ou au-dessus de 900 m plus près de l'Equateur.

● La culture

On plante les caïeux tuniqués, la pointe en l'air, affleurant à la surface du sol (environ 10 kg par hectare). Des caïeux conservés au froid (0 à 5°C) peuvent donner une production à bulbes éclatés. À l'inverse des caïeux conservés à une température élevée peuvent donner une récolte de bulbes peu remplis. La dormance des caïeux peut être rompue par un passage de vingt cinq jours à 5-10°C. Les caïeux doivent être désinfectés (fongicide et insecticide) avant la plantation. Les distances conseillées sont de 8 sur 25 cm en milieu tropical et 10 sur 40 cm en milieu tempéré.

La fumure préconisée pour un hectare à la Réunion est de 100 P₂O₅ et 240 K₂O avant la plantation et 100 N à la levée des plantes ou une tonne de 10-20-20 avant la plantation.

Le cycle végétatif, sous les tropiques, est de cent vingt à cent soixante jours, selon les variétés et les températures (il s'allonge lorsque la température descend).

La culture doit être désherbée, de préférence avec des herbicides, pour ne pas abîmer les plants.

L'ail est sensible, comme l'oignon et l'échalote, à l'alternariose du feuillage et à la maladie des racines roses. Les variétés traditionnelles sont infectées en totalité par plusieurs virus dont le plus grave est l'OYDV. Son élimination par culture de méristèmes permet d'obtenir des clones dont le rendement est amélioré de 50 à 100 %.

La maturité est atteinte quand les feuilles se dessèchent. Les bulbes sont séchés au soleil après l'arrachage. Les rendements sont de 10 t/ha à 800 m d'altitude à la Réunion.

LES AMARANTES

Amaranthus spp.

Anglais : amaranth

Espagnol : amaranto

Portugais : bredo, carurú

Famille des Amaranthaceae

● La plante

L'amarante est une plante herbacée vivace d'origine tropicale, utilisée comme épinard. Cette plante ne fait pas l'objet d'échanges internationaux, mais tient une place importante dans l'alimentation des peuples des zones côtières du golfe de Guinée (Bénin, Nigéria, Congo, République démocratique du Congo).

Il en existe de nombreuses formes sauvages et différents types d'amarante sont cultivés : le type indien (Tampala spinach, *A. tricolor*), le type africain (*A. hybridus*) et le type antillais (*A. viridis* L., *A. dubius* Mart.). L'amarante africaine a de grandes feuilles lisses et des inflorescences ramifiées vertes ou rouges. Les graines sont très petites.

Les amarantes sont adaptées au climat tropical et peuvent être cultivées jusqu'à 1500m d'altitude. Peu exigeantes quant au sol, elles préfèrent cependant les sols légers.

Les amarantes sont plus riches en matière sèche que la baselle (*B. alba*). Comme celle-ci, elles ont une photosynthèse de type C4, qui engendre une forte production de matière sèche et de protéines par unité de surface.

● La culture

● La plantation et l'entretien

La multiplication se fait par semis en pépinière (2g/m²) légèrement ombragée. Les graines doivent avoir plus de quinze jours. Les plants restent deux à trois semaines en pépinière, jusqu'à ce qu'ils atteignent 5 cm de haut. La densité de plantation dépend de la date de récolte prévue :

- > pour une récolte vingt jours après le repiquage, les plants sont espacés de 10 cm (100 plants/m²) ;
- > pour des récoltes échelonnées (première récolte à vingt jours, puis deux récoltes à quinze jours d'intervalle), ils sont repiqués à une distance de 20 cm ;
- > pour des récoltes plus tardives, les plants sont plantés à 20 cm sur des lignes espacées de 40 cm.

Un léger ombrage peut s'avérer nécessaire les deux premiers jours.

Il est fortement recommandé d'apporter une fumure organique avant la plantation (20 à 50 kg de fumier/m² au Bénin), la plante valorisant bien les apports d'engrais. On peut également apporter 100 g de 12-12-24/m². Une fertilisation azotée en cours de croissance favorise la formation du feuillage.

Un apport d'eau régulier est nécessaire (arrosage deux fois/jour).

Les tiges d'amarante sont très sensibles aux pourritures (*Pithium*, *Choanephora*). L'espèce *A. dubius* est moins sensible que *A. hybridus*. Il est important de récolter par temps ensoleillé pour que les sections de tige puissent sécher. Le feuillage des amarantes est fréquemment colonisé par des chenilles. Les racines sont résistantes aux nématodes à galles.

● La récolte

La récolte a lieu trois à six semaines après le repiquage. À la récolte, les plants sont arrachés, lavés et conservés dans l'eau jusqu'à la commercialisation (dans les deux jours). Les rendements peuvent atteindre 25 t/ha pour une seule récolte à vingt jours, 50 t/ha pour plusieurs récoltes en cinquante jours.

L'AUBERGINE

Solanum melongena L., *S. aethiopicum*, *S. macrocarpon* L.

Anglais : eggplant

Espagnol : berenjena

Portugais : berinjala

Famille des Solanaceae

● La plante et son environnement

Cette espèce se cultive pour ses fruits, consommés cuits. Ils sont appréciés pour leur saveur amère, légèrement sucrée ou fortement parfumée. Ils sont consommés comme légumes ou condiments.

Cette espèce est cultivée principalement en Asie et dans le bassin méditerranéen. En Afrique, on cultive les espèces voisines *S. aethiopicum* dont les fruits sont rouges à maturité et *S. macrocarpum* dont les fruits sont plus petits. On consomme leur fruit et leur feuillage. *S. melongena* présente une adaptation climatique très large. À chaque zone correspond des types de culture et une gamme de variétés bien adaptées. En zone de forte infestation par le flétrissement bactérien, il faut préférer les variétés Madinina (IRAT) et Kalenda (IRAT-INRA).

● La culture

Il faut environ 8 g de semences pour mille plants. Le semis se pratique en terrine ou en motte. Le séjour en pépinière est relativement long et la mise en place se pratique de quatre feuilles à la première floraison. Le greffage sur porte-greffe résistant est pratiqué si nécessaire : aubergine ou *S. aethiopicum* résistants à *R. Solanacearum*, ou *S. torvum* (arbuste sauvage).

La pratique de la rotation (avec le maïs ou une céréale à paille) est conseillée. Les précédents solanaceae et cucurbitaceae sont à proscrire. Le sol doit être meuble sur une profondeur suffisante et drainant. La parcelle peut être cultivée à plat ou profilée en billons (sols lourds, culture de saison des pluies).

La densité au repiquage est de 1,5 à 2 plants au m². La fertilisation est basée sur les exportations. Pour 30 à 50 t de fruits, elles sont de 180 à 300 kg de N, 30 à 75 kg de P₂O₅, 180 à 375 kg de K₂O, 20 à 40 kg de MgO. La taille n'est généralement pas pratiquée ; le tuteurage ou le palissage sont plus fréquents.

La lutte contre les adventices est le plus souvent manuelle mais certains herbicides peuvent être utilisés. Les maladies telluriques sont le flétrissement bactérien, les galles dues aux nématodes et le *Sclerotium rolfsii* en plaine, la verticilliose et la sclérotiniose en altitude. Les maladies des organes aériens sont l'oïdium (*Leveillula taurica*), les pourritures des fruits dues à l'antracnose (cultiver des variétés résistantes) ou aux *Phytophthora* (éviter le contact des fruits avec la terre).

Les virus et mycoplasmes sont moins fréquents que sur la tomate. Les catalogues à orientation tropicale proposent des variétés ou hybrides résistants au flétrissement bactérien et/ou à l'antracnose des fruits.

Les ravageurs sont nombreux : aleurodes, thrips, pucerons, araignées rouges, tarsonèmes, mouches mineuses, mouches des fruits, pyrale, punaises (dont le tigre de l'aubergine), coléoptères (dont doryphore et altises), chenilles.

Le fruit est récolté avant sa maturité physiologique ; il doit être ferme, bien coloré et brillant. La qualité optimale est atteinte lorsque le calice commence à se fendre.

● La production actuelle

La production mondiale serait de 5,6 millions de tonnes (source FAO), soit le neuvième rang parmi les légumes. Cette plante fait l'objet de très peu d'échanges internationaux et alimente en priorité les marchés de proximité et nationaux.

LA BASELLE

Basella alba L. - Syn. : *B. rubra* L., *B. cordifolia* Lam., *B. rubra* var. *alba*

Anglais : Ceylon spinach, Malabar spinach

Espagnol : espinaca de Ceilan, espinaca de Malabar

Portugais : bertalha

Famille des *Basellaceae*

● La plante

C'est une plante herbacée vivace utilisée comme épinard. Elle est originaire d'Asie (Inde ou Chine) et répandue actuellement dans de nombreuses régions tropicales : Caraïbes, Afrique de l'Ouest, etc. On rencontre trois cultivars : la baselle verte, la baselle rouge et la baselle verte à feuilles cordiformes.

La tige est grimpante et peut atteindre 4 à 6 m de long. Les feuilles sont charnues. Les fleurs, petites, sont disposées en grappe à l'aisselle des feuilles et produisent des fruits globuleux trilobés, contenant une graine, brune, de 3 mm de diamètre (30 graines/g).

La baselle est une plante de jours courts : elle ne fleurit pas si la longueur du jour excède treize heures. C'est une plante qui demande chaleur et humidité. Certains cultivars tolèrent une légère sécheresse. La baselle s'adapte à différents types de sols mais ils doivent être bien fumés. Sous léger ombrage, elle développe des feuilles plus larges.

● La culture

La multiplication se fait par semis en pépinière ou par bouturage (Asie). Le semis direct avec suppression à quinze jours de deux tiers des plantules, pour obtenir 100 plants/m², est également possible. La germination a lieu en cinq à six jours.

En cas de repiquage, les jeunes plants sont transplantés lorsqu'ils ont 10 à 12 cm de haut, à des distances de 40 à 50 cm ou sur des lignes espacées de 60 à 70 cm à des distances de 25 à 30 cm sur la ligne. À la plantation, on conseille 400 kg de compost à l'are et 100 g de 15-8-8 au m². Une fertilisation azotée est bénéfique dans les premiers mois.

La baselle est très peu sensible aux parasites, excepté les nématodes des racines. Une culture sur une courte période permet d'éviter leur prolifération.

Cependant, depuis quelques années, de graves attaques d'une rouille compromettent la production en Afrique équatoriale.

Le palissage est plutôt réservé à la production de graines. En principe, la récolte démarre 55 à 70 jours après la transplantation. Les tiges étant difficiles à mener sur palissage, on peut choisir de cultiver la baselle sur une courte durée. En récoltant la partie apicale des plantes chaque semaine pendant deux mois, on peut obtenir 40 kg de feuilles sur 10 m², soit 40 t/ha, avec une fumure appropriée au semis. Avec un support, la récolte peut durer six mois et atteindre 75 t/ha, mais les feuilles ont tendance à devenir de plus en plus petites.

LA CHAYOTTE

Sechium edule (Jacq.) Swartz.

Français : chayotte, chouchoute, christophine

Anglais : chayote

Espagnol : chayote

Portugais : chuchu

Famille des Cucurbitaceae

● La plante

C'est une plante grimpante monoïque vivace, dont on consomme le fruit, une baie en forme de poire pesant de 100 à 500 g et contenant une graine. Dans certains pays, on consomme les feuilles. Les racines deviennent parfois tubéreuses dans les zones fraîches ; elles sont alors comestibles. Originaires du Costa Rica, elles sont cultivées dans toutes les zones tropicales et en France méridionale.

On distingue quatre groupes de cultivars : à fruits verts et épineux, à fruits verts non épineux, à fruits blancs et épineux, à fruits blancs non épineux. Les variétés à fruits blancs semblent mieux adaptées aux zones de faible altitude.

La chayotte est cultivée de préférence entre 500 et 2 000 m d'altitude en climat tropical. Elle souffre des températures élevées et connaît un repos végétatif si la température nocturne monte au-dessus de 22°C. L'optimum de température se situe vers 25°C. En dessous de 20°C, elle se développe mal. L'exposition de la plantation doit tenir compte de ces contraintes thermiques. Les lieux trop ventés sont à éviter. Les sols doivent être bien drainés.

● La culture

On plante le fruit entier qui a commencé à germer dans le sens de la longueur, en l'enterrant à moitié. Les distances de plantation varient de 1 m sur 1 m à 5 m sur 5 m. Les plants doivent être conduits sur un support (treillis, tuteurs, ficelle). L'utilisation de tonnelles de 4 à 6 m de large sur 2 m de haut, couvertes de grillage ou d'un palissage de bois, est fréquente et particulièrement adaptée. Un apport de matière organique à la plantation, puis tous les deux ou trois mois, est recommandé. Un complément minéral de 2 t/ha/an de 10-10-20 est parfois préconisé.

Les premières fleurs apparaissent deux mois après la plantation. La pollinisation est assurée par les insectes. Les racines sont très sensibles aux nématodes à galles (*Meloidogyne*). La chayotte est victime d'un *Oïdium* et de *Mycosphaerella melonis* (entraînant des lésions des fruits). Les rats et les chauves-souris peuvent causer des dégâts.

La récolte débute trois à quatre mois après la plantation et dure quatre à six mois. Il arrive que les fruits commencent à germer tout en restant sur la tige. Les rendements peuvent atteindre 100 t/ha, mais se situent en moyenne entre 30 et 60 t/ha. Le fruit peut être conservé trois semaines à un mois à 10°C, à une humidité de 85 à 90 %.

LES CHOUX CHINOIS : PE-TSAÏ ET PAK-CHOY

Brassica campestris L.- syn. *B. rapa*

Anglais : pe-tsaï : celery cabbage – pak-choy : chinese white cabbage

Famille des crucifères

Originaire des zones tempérées, cette espèce comprend des types très divers : types à graines oléagineuses, types à racines tubérisées (le navet), légumes-feuilles (*caïsim* de Thaïlande et d'Indonésie, *loundif* d'Afrique Centrale), et des types chinois formant :

> soit des pommes allongées ou ovoïdes, consommables en salade ou cuites : les *pe-tsaï* ;

> soit des côtes hypertrophiées vert clair ou blanches, consommables cuites : les *pak-choy*. Les parties vertes des feuilles sont consommées en soupe ou comme épinard.

À l'origine les *pak-choy* sont plus adaptés aux conditions tropicales que les *pe-tsaï*. Toutefois l'AVDRC a mis au point des variétés des deux types adaptées aux conditions tropicales et cultivables en plaine tant que la température maximale ne dépasse pas 32°C.

Les plants sont produits en pépinière, puis repiqués au stade trois-quatre feuilles sur un terrain abondamment fertilisé avec des engrais organiques ou chimiques. La plupart des ennemis et des maladies sont communs à *Brassica oleracea* et à *Brassica campestris*. La protection contre les chenilles est essentielle. Les rendements sont de l'ordre de 30 à 50 t/ha.

LES CHOUX EUROPÉENS

Brassica oleracea

Anglais : cabbage

Espagnol : repollo, col

Portugais : couve

Famille des crucifères

● La plante et sa culture

Brassica oleracea existe à l'état sauvage en Europe tempérée (*var. sylvestris*). En zone tropicale, toutes les variétés de choux peuvent être cultivées en altitude. En zones basses et humides, le chou de Bruxelles et le chou de Milan ne se développent pas.

Seuls le chou pommé, le chou vert, le chou-fleur, le brocoli et le chou rave peuvent être cultivés. Des variétés ont été sélectionnées pour la culture en conditions tropicales. Une pluviosité trop importante est néfaste au développement des choux (au-dessus de 200 mm/mois en Martinique).

Les choux doivent être si possible semés en couches stérilisées, du fait de la vulnérabilité des semis à certains champignons : *Pythium* et *Rhizoctone* brun. Les plants sont également sensibles à *Phoma linguam*, contre lequel les fongicides systémiques sont efficaces. La fusariose se développe à des températures de 25 à 30°C. La plupart des variétés modernes américaines et japonaises y sont résistantes. Une bactérie, *Xanthomonas campestris*, attaque le feuillage. Les mélanges zinèbe-cuivre peuvent être utilisés sur pépinière et plants repiqués, mais leur efficacité n'est pas totale. La tolérance variétale est un autre moyen de lutte.

Parmi les ravageurs, les chenilles sont les plus dévastatrices. La lutte à l'aide de *Bacillus thuringiensis* est en général efficace contre *Plutella xylostella*. Les traitements insecticides doivent être faits avec des mouillants qui augmentent l'adhérence de la bouillie sur les feuilles.

En pépinière, on sème en lignes distantes de 10 cm des graines tous les 2 cm, afin d'obtenir quarante plants par mètre linéaire. Les plants sont repiqués au stade trois feuilles (après vingt ou vingt-cinq jours de pépinière), à des distances de 40 à 60 cm.

Comme tous les légumes, le chou valorise bien des apports de matière organique (avant la mise en place). Il est exigeant en azote et potasse. Les apports sont fractionnés en trois fois pour l'azote et deux fois pour la potasse. Le sol doit être maintenu propre jusqu'à sa couverture par les feuilles.

● Le chou-fleur

Brassica oleracea subsp. *Botrytis* var. *botrytis*

Il est en général moins adapté que le chou pommé ou le chou rave aux conditions tropicales. Des variétés convenables ont toutefois été sélectionnées, dont *Tropical snowball* et *Early Patna*. Les brocolis sont plus tolérants à la chaleur que les choux-fleurs véritables. La partie comestible est l'inflorescence. La récolte a lieu au bout de six mois.

● Le chou pommé

Brassica oleracea capitata var. *capitata*

Variétés : choux cabus blancs, choux cabus rouges, choux de Milan.

Le chou pommé pousse moins bien en région tropicale qu'en zone tempérée. Depuis une vingtaine d'années, les catalogues à orientation tropicale proposent des choux pommés tolérant mieux la chaleur et *X. campestris*, résistants à la fusariose, dont le premier a été l'hybride F1 *K.K. cross*.

Les besoins en eau doivent être satisfaits essentiellement pendant le stade de la pomme. La récolte a lieu soixante à soixante-quinze jours après le repiquage et les rendements varient de 20 à 30 t/ha.

● Le chou vert

Brassica oleracea subsp. *acephala* (DC) *Alef* var. *sabellica* L.

Il ne se développe bien qu'au-dessus de 500 m en climat tropical. La récolte a lieu cinquante à quatre vingt-cinq jours après le repiquage et les rendements moyens sont de 20 t/ha.

LE CHOU PALMISTE

Anglais : cabbage tree ou cabbage palm

Famille des Palmaceae ou Areceaceae

Le chou palmiste est le bourgeon terminal de certains palmiers, dont on a retiré les enveloppes extérieures. Les jeunes feuilles, blanches, sont consommées en salade. L'ablation de ce bourgeon entraîne la mort de l'arbre. Il est prélevé sur la plupart des palmiers, mais le plus apprécié est le bourgeon d'*Oreodoxa oleracea* (palmier royal des Antilles).

L'ÉCHALOTE

Allium cepa var. *aggregatum* - Synonyme : *A. cepa* var. *ascalonicum*

Anglais : shallot

Espagnol : ascalonia, chalote, escaluna

Famille des Liliaceae

● La plante

C'est une plante vivace à feuilles creuses et tubulaires, cultivée pour son bulbe utilisé comme condiment. Originnaire d'Asie, c'est initialement une plante de climat tempéré. Un bulbe replanté donne chez l'oignon une majorité de hampes florales et, chez l'échalote, une majorité de nouveaux bulbes. L'échalote fleurit rarement. Elle est donc traditionnellement cultivée là où la production de graines d'oignons est difficile ou impossible, comme en Asie du Sud-Est (Indonésie, Thaïlande, Philippines) et en Afrique équatoriale (pays du golfe de Guinée, Congo, République démocratique du Congo...). Il est possible qu'elle y soit concurrencée à l'avenir par des oignons produits avec des graines importées.

L'échalote, comme l'oignon, supporte des températures plus élevées que l'ail ou le poireau (optimum entre 16 et 18°C). Une température nocturne supérieure à 22°C lui est néfaste. C'est une plante photopériodique de jours longs. Il existe des variétés adaptées aux climats tropicaux, les variétés tempérées ne produisant pas de bulbe en climat tropical (problème de photopériodisme). Les variétés locales des régions chaudes ont en général un cycle court, permettant plusieurs récoltes par an. La durée du cycle varie en fonction de la température et de la longueur du jour. L'échalote ne fleurit pas lorsque la température moyenne est trop élevée (saison chaude aux Antilles).

● La culture

On plante les bulbes la pointe vers le haut. Les densités préconisées sont de 12 cm x 12 cm ou en lignes espacées de 20 cm avec une distance de 8 à 10 cm sur la ligne. La durée germinative des bulbes est de deux ans. L'échalote ne supporte pas le paillage qui fait pourrir les bulbes. Les maladies sont les mêmes que celles de l'oignon.

Chaque bulbe produit une touffe de tiges qui donneront chacune un nouveau bulbe. La récolte commence en enlevant quelques bulbes à chaque souche pour favoriser le développement des autres. La totalité des bulbes est arrachée lorsque le feuillage jaunit, par temps sec pour éviter les risques de pourriture. Les bulbes sont séchés au soleil puis stockés sur des clayettes, une fois les feuilles et racines coupées. La conservation des bulbes est identique à ceux de l'oignon (cf. plus loin).

Là où une trop grande agressivité des maladies rend difficile même la culture de l'échalote, on peut développer celle d'*Allium fistulosum*, espèce beaucoup plus résistante. On l'appelle *ciboule* ou *cive* (variétés à fort tallage). L'échalote indonésienne *Sumenep*, qui ne fleurit jamais, est un hybride *A. cepa* x *A. fistulosum*.

LE GOMBO

Abelmoschus esculentus (ancien nom : *Hibiscus esculentus*)

Anglais : lady's finger, okra

Espagnol : ocra

Portugais : quiabo

Famille des *Malvaceae*

● La plante

D'origine incertaine (Inde ou Afrique de l'Est), les gombos sont en Afrique de l'Ouest la deuxième production légumière après les tomates. Ce légume fruit est utilisé comme liant dans les sauces. Cuit, il peut être consommé en salade. Il est très voisin de la roselle (*Hibiscus sabdariffa*).

Il s'agit d'une plante annuelle, dont les fruits (capsules) sont récoltés immatures, trois à cinq jours après la floraison. Elle peut atteindre 1 à 2 m de haut. Les tiges sont fibreuses. Les fleurs sont jaunes et la couleur du fruit varie : blanc crémeux, rouge violacé, vert clair ou vert foncé.

La température mensuelle moyenne optimale est de 20° à 30°C. Le gombo se développe bien dans les régions basses, ne dépassant pas 1 000 à 1 500 m d'altitude en climat tropical ou équatorial. Il n'est pas photopériodique et demande des sols bien drainés et riches en matière organique.

On trouve, en Afrique de l'Ouest, une très grande diversité de cultivars locaux. Les variétés sélectionnées les plus répandues sont :

- > *Clemson Spineless*. Sélectionnée aux Etats-Unis et très cultivée en Afrique de l'Ouest, elle est très sensible aux virus et nématodes et bien adaptée aux climats méditerranéens et tropical sec ;
- > *Pusa Sawani* (Inde) et *Perkins Long Green*.

Les principaux critères de sélection actuels sont la recherche de plantes de petite taille, avec des fruits lisses, de forme et de couleur attractives, atteignant rapidement 5 à 8 cm de long.

● La culture

En Afrique de l'Ouest, le gombo est semé en début de saison des pluies. Les distances de plantation sont de 20 à 40 cm sur la ligne, pour des lignes espacées de 50 à 60 cm (semis de trois à quatre graines par poquet, soit 7 à 10 kg de semences par hectare).

Parmi les ravageurs, citons les nématodes, pucerons et aleurodes. Oïdium et cercosporiose sont les maladies fongiques importantes. Un virus (*Okra Mosaic*) attaque également le gombo.

La plante commence à fleurir un à deux mois après le semis. Le fruit a une croissance très rapide : il a parfois 5 cm trois jours après la floraison. Il est récolté entre 5 et 8 cm de longueur. Les fruits récoltés trop tard sont fibreux. Les rendements moyens sont de 10 t/ha et peuvent atteindre 20 à 30 t/ha pour la variété *Pusa Sawani*.

LA LAITUE

Lactuca sativa

Anglais : lettuce

Espagnol : lechuga

Portugais : alface

Famille des *Compositae*

● La plante et son environnement

La laitue est une plante herbacée annuelle cultivée pour ses feuilles. Elle est originaire du Moyen-Orient et sa culture s'est diffusée sur le pourtour méditerranéen et en Chine, puis en Europe et en Amérique. Elle a été introduite récemment sous les tropiques. C'est une plante à feuilles allongées, disposées en rosette ; certaines variétés pomment. Les graines sont petites, noires ou blanches (1 000 graines/g).

D'origine tempérée, la laitue ne supporte pas les fortes chaleurs : la température optimale pour les principales variétés se situe entre 13 et 18°C. Entre 21° et 27°C de température moyenne journalière, la laitue ne pousse pas et les plants montent à graine. À des températures dépassant 30°C dans le sol, la germination des graines est inhibée (il faut ombrager les pépinières). Un principe amer se développe également si la température moyenne est élevée. Enfin, une nécrose du bord des feuilles est provoquée par de fortes températures liées à une forte humidité : le *tip burn* ou sclérose marginale. Cette nécrose résulterait d'un déséquilibre également lié aux disponibilités en azote et en calcium (attention aux sols ferrallitiques).

La laitue est sensible à la longueur du jour. La pomme dépend de deux facteurs : la température et l'énergie lumineuse reçue. Pour une même température, la pomme est meilleure en jours longs à forte luminosité.

Dans les régions tropicales, il convient d'utiliser des variétés peu sensibles au *tip burn* et dont la pomaison est peu liée à la température et à l'éclairement. Les feuilles doivent être suffisamment épaisses pour résister à une forte pluie, comme celles des variétés du type *batavia*. La variété américaine *Minetto*, de type *batavia*, est celle qui rencontre le plus grand succès en conditions de plaine tropicale humide. En conditions plus sèches, on peut adopter les *batavia* convenant à l'été méditerranéen : *Cybèle*, *Carmen*, *de Verano*. Les laitues à couper, qui ne pomment pas, et les laitues grasses sont également adaptées.

● La culture

La laitue demande un sol présentant une structure grumeleuse et ne supporte pas l'asphyxie des racines et le sel. Le pH doit être voisin de 7. Les fluctuations de l'humidité du sol sont mal supportées en fin de cycle. La fumure doit être apportée de préférence sur la culture précédant la laitue dans la succession. Des apports de matière organique peuvent toutefois être réalisés avant plantation, en évitant les déjections animales. La laitue craint les fumures azotées excessives.

La multiplication se fait en pépinières : les plants germent en quatre à cinq jours. Les plants peuvent être en mottes ou en planches. Ils sont repiqués à quatre ou cinq feuilles, à une distance de 25 cm ou sur billons espacés de 30 ou 40 cm, à 30 cm de distance sur le billon. Un léger ombrage est maintenu en permanence et les plants sont irrigués fréquemment. Les ennemis et maladies les plus graves en conditions tropicales sont les nématodes à galles (*Meloidogyne*) et, sur le feuillage, la septoriose (utiliser des semences saines) et la cercosporiose.

La récolte a lieu deux mois après le semis pour les laitues pommées et vingt à trente jours après le semis pour les laitues à couper. Des pertes par pourriture peuvent survenir si l'on récolte en période pluvieuse. Les rendements varient de 5 à 15 t/ha, selon le cultivar et le climat. Avant consommation, il est recommandé de tremper les salades au permanganate puis de les rincer.

L'OIGNON

Allium cepa L.

Anglais : onion

Espagnol : cebolla

Portugais : cebola

Monocotylédone. Famille des Liliaceae

● Les utilisations de l'oignon

L'oignon est principalement cultivé pour la production d'un bulbe sec destiné à la consommation humaine. Le bulbe entier est utilisé frais, dès la récolte ou après quelques mois de conservation, comme condiment et pour faire des sauces. Il est consommé cru en salade ou cuit en mélange avec d'autres légumes. D'autres parties de la plante sont utilisées : les feuilles, récoltées vertes, fraîches ou séchées, et les hampes florales avant épanouissement de l'ombelle.

L'oignon peut être transformé artisanalement ou industriellement par séchage en cossettes, puis broyage éventuel en poudre ou par confisage dans du vinaigre ou de la saumure. On utilise de préférence des variétés à haute teneur en matière sèche (supérieur à 12 %) pour une longue conservation ou le séchage. Dans ce dernier cas, la teneur en matière sèche peut atteindre 20 %.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

Elle est bisannuelle : elle forme un bulbe la première année, puis, après une période de repos et une vernalisation, elle émet une ou plusieurs inflorescences. Aux latitudes inférieures à 10°, en conditions humides, la production locale de graines est difficile. On utilise alors des graines importées. Cette production de graines est, par contre, traditionnelle en Afrique de l'Ouest par exemple

L'oignon est photopériodique : la formation du bulbe ne peut se faire que si la longueur du jour dépasse un certain seuil. Le début de la maturation du bulbe est signalé par l'affaissement des limbes des feuilles les plus anciennes : la tombaison. Son système racinaire est faible. Sa multiplication est assurée par de vraies graines noires et anguleuses. Il y a environ deux cents graines par gramme. L'oignon est parfois multiplié végétativement par des petits bulbes (souvent appelés bulbilles), obtenus par semis tardif à forte densité.

Le cycle de culture de l'oignon comprend donc généralement quatre phases, correspondant à la première année du cycle bisannuel :

- > de la germination au stade quatre-cinq feuilles ;
- > une phase de croissance en hauteur et en largeur ;
- > le grossissement du bulbe ;
- > la maturation du bulbe, qui commence à la tombaison.

● **L'écologie de l'oignon**

L'oignon est cultivé du 60° parallèle à l'équateur. Sa production est largement répandue sous les tropiques, particulièrement dans les climats secs. En zone tropicale, on utilise des variétés dites de jours courts produisant des bulbes sous des durées de jour de dix à douze heures ou des variétés de jours intermédiaires produisant des bulbes sous des durées de jour de treize à quatorze heures. Le bulbe nécessitant une période sèche pour achever sa maturation, la production de bulbes secs d'oignon est particulièrement adaptée aux régions sahéliennes. Les hautes températures (supérieures à 35, 40°C) raccourcissent le cycle de culture et hâtent la bulbification. La faible luminosité la limite. La forte humidité favorise le développement des maladies et des pourritures.

L'oignon est cultivé dans tous les sols, mais il craint l'acidité excessive : les pH les plus favorables sont situés entre 5,5 et 7,5.

● **La culture**

● **Les différents systèmes de culture**

La culture peut se faire à partir de semis direct des graines, à partir de plants issus d'une pépinière âgés de quarante-cinq à soixante jours ou à partir de petits bulbes, les bulbilles, de diamètre variant de 6 à 25 mm.

Le semis direct est pratiqué dans les pays où la mécanisation est développée et le désherbage chimique bien maîtrisé. La production à partir de petits bulbes est surtout pratiquée pour obtenir une récolte précoce et faciliter le désherbage quand les adventices sont difficiles à contrôler, en zone tropicale humide. La pépinière est la pratique la plus répandue dans la zone tropicale car elle permet d'économiser la quantité de semence utilisée et de maîtriser le désherbage pendant les jeunes stades de développement de la plante et le peuplement.

La lutte contre les maladies du sol et les adventices impliquent de cultiver l'oignon en rotation avec des *plantes nettoyantes* comme la canne à sucre ou les céréales et d'enlever les résidus des cultures précédentes. Dans les régions à deux saisons, l'oignon est semé en fin de saison des pluies et récolté en pleine saison sèche.

● **L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement**

● **Le choix de la variété**

Le choix variétal dépend de l'utilisation de l'oignon et des conditions climatiques. Le bulbe peut être aplati, rond ou allongé de couleur rouge, violet, jaune ou blanc. Il n'y a pas de liaison entre la couleur, la forme et l'aptitude à la conservation.

Variétés de jours courts :

- > faible conservation : *Texas grano*. Hybrides : *Superex*, *Yellow Granex*, *California*, *Rio Raji Red* ;
- > conservation moyenne : *Red Creole* ;
- > bonne conservation : *Violet de Galmi*, *Violet de Soumarana*, *Galil*, *Arad*, *Shahar*, *Elat*.

Variétés de jours intermédiaires de faible conservation :

- > jaune hâtif de Valence, jaune espagnol, rouge espagnol

● **L'installation de la culture**

On utilise 6 à 9 kg de semences à l'hectare en semis direct, 2 à 4 kg avec la pratique de la pépinière. À partir de bulbilles, la quantité de semences varie de 60 à 200 kg suivant leur calibre. La densité en pépinière est de 1 500 à 2 000 plantes/m². On compte environ 300 à 500 m² de pépinière pour planter un hectare. Après transplantation au champ, les peuplements varient de 40 à 70 plantes/m², en fonction du calibre souhaité.

Les diminutions de peuplement sont dues à la concurrence avec les adventices et au développement des maladies. Outre la température, la fertilisation, l'irrigation et les maladies et ravageurs affectent le grossissement du bulbe.

● La fertilisation

Les apports minéraux pratiqués sont, en général, de 120 à 180 unités N, 80 à 120 unités P₂O₅ et 150 à 250 unités K₂O. Le fractionnement est recommandé pour l'azote et le potassium. Cependant, les apports excessifs et tardifs d'azote allongent le cycle et diminuent l'aptitude à la conservation des bulbes. Calcium, magnésium et soufre sont également des éléments importants dans la croissance de la plante.

● L'alimentation en eau

Les besoins en eau sont importants de la croissance des feuilles jusqu'au grossissement du bulbe. Le coefficient cultural est égal à 0,6 jusqu'au stade quatre à cinq feuilles, puis à 1 jusqu'à la maturation du bulbe et enfin à 0,7 pendant la maturation. En zone soudano-sahélienne, pour un cycle de quatre mois, les besoins en eau sont estimés entre 5 000 et 7 000 m³/ha.

● L'entretien de la culture et la maîtrise des ravageurs et maladies

Les désherbants chimiques utilisables sont le propachlore et le chlorthal en pré-levée de la culture et pré-levée des adventices, et la pendiméthaline et l'ioxynil en post-levée des adventices à partir du stade trois feuilles. En l'absence d'herbicides spécifiques, les sarclages sont indispensables.

Tableau 2. Les principaux ravageurs et maladies de l'oignon

	Maladies	Insectes
Sur le feuillage	Anthracnose (<i>Colletotrichum sp.</i>) Alternariose (<i>Alternaria sp.</i>) Bactériose (<i>Xanthomonas campestris</i>) Botrytis (<i>Botrytis squamosa</i>)	Thrips (<i>Thrips tabaci</i>) Chenilles défoliatrices (<i>Spodoptera spp.</i> , <i>Heliothis spp.</i>) Mineuses (<i>Liriomyza spp.</i>)
Sur les bulbes et racines	Maladie des racines roses (<i>Phoma terrestris</i> ou <i>Fusarium spp.</i>) Pourriture blanche (<i>Sclerotium cepivorum</i>)	
Sur les bulbes	Coups de soleil <i>Aspergillus niger</i> en conservation Pourritures bactériennes	

● La récolte et le stockage

La récolte peut se faire avant la maturation, avec les feuilles en vert au début de bulbification, ou à maturité pour la production de bulbes de conservation. Pour une longue conservation (deux à six mois), la récolte doit être faite à maturité complète des bulbes, après le dessèchement des feuilles d'au moins la moitié des plantes. Un séchage pendant plusieurs jours, au champ ou sur une aire abritée, accroît significativement la durée de conservation. Si la récolte est faite par temps humide, un séchage artificiel est impératif.

Le stockage se fait dans des abris bien ventilés, à température constante supérieur à 28°C ou comprise entre 4 et 7°C.

● La production actuelle

La production d'oignon s'est développée de façon continue en zone tropicale depuis plus de quarante ans. Cependant, l'Afrique sub-saharienne reste importatrice nette d'oignons bulbes. S'appuyant sur des climats favorables et des réseaux marchands dynamiques, la création de variétés plus productives et de meilleure conservation permettra de relever le défi de la substitution aux importations. La diversification des produits (oignon vert, échalotes, oignon séché) est en cours, incluant également les espèces d'alliums voisines comme l'ail, le poireau, la cive, la ciboulette.

LES PIMENTS

Capsicum frutescens L. et *Capsicum chinense* Jacq.

Anglais : hot pepper, chili, bird chili

Espagnol : guindilla, chile picante

Portugais : pimenta

Famille des Solanaceae

● La plante

C'est une plante vivace originaire d'Amérique centrale, de 1 à 1,5 m de haut, à feuillage fin, aux fruits de forme carrée, rectangulaire ou conique.

Les deux types les plus connus sont *tabasco* (fruits allongés) et *piment z'oiseaux* (fruits très petits extrêmement piquants). Ceux de *C. chinense*, petits eux aussi, sont en forme de poivron, de lanterne ou de tomate côtelée, rouges et jaunes. Certaines variétés à petits fruits piquants de *C. annuum* sont appelées piments (voir *le poivron*). *Capsicum frutescens* est plus adapté au climat tropical que *Capsicum annuum* et apparaît souvent à l'état subspontané. Les principales banques de gènes sont aux Etats-Unis, au Costa-Rica et à Taiwan.

Le piment est une espèce thermophile, plus exigeante en température que la tomate. Des températures moyennes inférieures à 18°C contrarient la croissance de la plante. Des températures de l'ordre de 28°C le jour et 18°C la nuit sont optimales pour la plante. Les exigences en eau du piment concernent principalement la régularité des apports; son système racinaire est en effet assez réduit. Le piment est plus sensible à la salinité que la tomate ou l'aubergine.

● La culture

Le semis s'effectue sur couche stérilisée ou en pots de 10 cm. La germination se fait entre quatre à huit jours à 20-25°C. Les plants sont repiqués au bout de soixante-dix à quatre-vingt jours, sous ombrage partiel, sauf la dernière semaine avant plantation. La densité de plantation est de 45 000 plants/ha. Les accidents physiologiques sont fréquents. Aussi certaines règles doivent-elles être respectées : utilisation d'un sol sain et de plants jeunes peu endurcis, fertilisation azotée réduite avant la première mise à fruit puis fertilisation soutenue en liaison avec la charge en fruits par la suite, apports d'eau réguliers et sans excès.

Toute modification du rythme de croissance de la plante est susceptible de se traduire par des modifications de la forme et du calibre des fruits.

En conditions tempérées ou méditerranéennes, les principales maladies du piment sont dues à des virus et à des champignons. Sous les climats chauds et humides (zone intertropicale), les maladies les plus dommageables sont provoqués par *Xanthomonas campestris* et *Pseudomonas solanacearum*. Sur *C. annuum*, *Sclerotium rolfsii* provoque des mortalités prématurées. Si la maturation des fruits a lieu en conditions humides, des anthracnoses des fruits peuvent se développer, surtout sur les types piquants de *C. annuum*. La plupart des résistances aux maladies sont découvertes dans des piments cultivés ou sauvages d'Amérique centrale, d'Asie ou d'Afrique, à petits fruits «brûlants». Les nématodes à galle (*meloidogyne* spp) infectent piment et tomate.

La maturité débute cent à cent vingt jours après le semis. Les rendements sont de l'ordre de 1 à 1,5 t/ha de fruits frais mûrs, soit 310 à 600 kg de fruits secs. Les piments peuvent être séchés au soleil.

LE POIREAU

Allium ampeloprasum var. *porrum* (autrefois *A. porrum*)

Anglais : leek

Espagnol : puerro

Portugais : alho poro

Famille des Liliaceae

● La plante

Le poireau est une plante bisannuelle, cultivée pour ses feuilles et pour sa *fausse tige* constituée par les gaines foliaires. Ses feuilles sont étalées au sommet et engainantes à la base.

Le poireau étant une culture de climat tempéré, sa température optimale de développement est de 12 à 16°C. Il supporte le gel. En climat équatorial, sa culture n'est envisageable qu'au-dessus de 1 000 m. En plaine, un légume analogue au poireau peut être obtenu avec les variétés de fort calibre d'*Allium fistulosum* (type *Nebuka* des catalogues japonais) ou l'hybride *cepa x fistulosum Beltsville bunching onion*. On peut le cultiver avec irrigation en saison sèche si la température moyenne ne dépasse pas 17 à 18°C. Le poireau préfère les sols meubles et riches.

Il existe aux Antilles françaises un poireau qui émet des pousses axillaires pouvant être détachées et replantées : le *poireau perpétuel*. C'est une variété chétive, multipliée de cette manière et non par graines.

● La culture

Le poireau est généralement multiplié par graines, avec un passage en pépinière pendant deux mois environ (400 graines/g). Trois mètres de semis sont nécessaires pour obtenir 150 plants. Les graines sont disposées dans des sillons de 3 cm de profondeur, distants de 15 cm. La levée a lieu dix à quinze jours après le semis.

Les plants sont repiqués au champ lorsqu'ils atteignent la taille d'un crayon (plants habillés : feuillage raccourci, racines coupées à 1 cm). Les écartements de plantation sont de 30 à 40 cm entre lignes, 10 à 15 cm sur la ligne. Les jeunes poireaux plantés au champ doivent être ombragés et arrosés régulièrement jusqu'à la reprise.

Il est conseillé d'apporter du compost et une fumure minérale. Le buttage est pratiqué sur 10 cm de haut ; il permet d'obtenir le maximum de *blanc* sur les feuilles. Les plantations doivent être désherbées régulièrement. L'alternariose est la maladie la plus répandue (taches pourpres sur les feuilles) contre laquelle l'iprodione est efficace. On rencontre également un *Phytophthora* sur les feuilles. La récolte débute après quatre mois et peut atteindre 50 t/ha dans des conditions favorables.

LE POIVRON

Capsicum annuum

Anglais : sweet pepper

Espagnol : ají, chile dulce, pimentón

Portugais : pimentão, pimenta-de-bugre

Famille des *Solanaceae*

Capsicum annuum comprend des variétés à fruits doux (*sweet peppers*, en anglais) et des variétés à fruits piquants. Toutes les variétés de capsicum à fruits piquants sont appelées *piments* (*hot peppers*, en anglais). Les principaux producteurs mondiaux sont la Chine, suivie du Mexique, de la Turquie et de l'Espagne. Le poivron se présente sous la forme d'un petit buisson de 1 m à 1,5 m de haut, à feuilles brillantes, lancéolées. Les fleurs sont blanches, insérées à l'aisselle des feuilles.

Le poivron est une des plantes maraîchères les plus exigeantes en température, mais est moins exigeant sur l'ensoleillement que la tomate. Son développement optimal s'observe sous des températures variant entre 16° et 26°C, et pour des éclaircissements de l'ordre de 50 à 60 % du rayonnement solaire tropical, surtout pour les jeunes plants. Le zéro végétatif est de 14°C. Sous les tropiques, une altitude de 400 à 800 m lui est favorable, ainsi que la saison sèche des climats sahéliens ou *sud chinois* vers 25° Nord de latitude. Sa culture se développe de plus en plus en savane durant la saison sèche pour exporter en contre-saison en Europe. C'est une plante qui demande un sol riche en humus, peu humide.

Parmi les variétés de poivron doux, il convient de citer les poivrons américains (*California wonder*, *Yolo wonder*), italiens (*Quadrato giallo d'Asti*), espagnols (*Largo Valentiano*) et français (*Bastidon*, *Doux des Landes* à chaire mince). Pour la conserverie, on utilise des poivrons plus petits, du type *Antibois*. Les poivrons piquants présentent une très grande variété de formes et colorations, en particulier au Mexique. En France, on trouve la variété *Sucette*. Certaines variétés cumulent d'intéressantes résistances aux maladies, comme la variété précoce *Milord* (CMV, virus Y, phytophthora) ; deux types de variétés tardives sont intéressantes de ce point de vue : *Florida VR2* (résistance au virus Y) et *Narval* (résistance au flétrissement bactérien).

Le poivron se multiplie en pépinière. Les graines sont prélevées sur des fruits récoltés à maturité. La levée a lieu au bout de trois semaines.

Les plants peuvent être repiqués au bout de quarante à cinquante jours, à écartement de 60 x 60 cm. Un léger ombrage peut être nécessaire. Deux apports d'engrais sont conseillés en cours de végétation. La durée de végétation est de cinq à huit mois, et le poivron doux est récolté soit immature (vert), soit à maturité (jaune ou rouge).

LES POUSES DE BAMBOU

Genres *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Sasa*, *Dendrocalamus*

Anglais : bamboo

Espagnol : bambú

Portugais : bambu

Famille des *Poaceae*

Les pousses de bambou sont très consommées comme légume en Asie. Il s'agit des turions d'espèces non amères, qui sont consommés crus ou cuits de différentes manières ou confits au vinaigre. Certaines pousses ne peuvent être consommées qu'après cuisson.

Les meilleures pousses proviennent de quatre genres : *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Sasa* et *Dendrocalamus*. Chacun de ces genres regroupe de nombreuses espèces. Les pousses de *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) sont considérées comme les meilleures parmi les bambous tropicaux.

Les bambous sont originaires des zones tropicales ou tempérées d'Asie, d'Amérique, d'Afrique et d'Australie. Ils sont cultivés en Chine, au Japon, en Asie du Sud-Est, en Indonésie et aux Etats-Unis. Ce sont des monocotylédones vivaces à rhizomes. Les tiges, creuses, sont issues des bourgeons du rhizome. Les feuilles sont très fines. Les fleurs forment des épis.

La couleur et la taille de la plante dépendent de la variété : on rencontre des variétés vertes, marbrées, bariolées etc. et certains bambous peuvent atteindre 30 m de haut. La floraison dépend aussi de la variété (entre sept et quinze ans en général). Les exigences climatiques diffèrent fortement suivant les espèces, notamment la tolérance au froid. Cependant, d'une manière générale, un climat chaud est propice à leur développement.

Le sol doit être humide mais bien drainé. Les bambous préfèrent les sols riches. La multiplication du bambou se fait par éclat de touffes ou par rhizome. Les pousses prélevées ont une taille variable suivant les espèces (diamètre de la taille d'un doigt à 15 cm). Si elles sont très larges, elles sont découpées.

LE RADIS

Raphanus sativus L.

Anglais : radish

Espagnol : rábano

Portugais : rabanete

Famille des crucifères

Le radis est originaire des zones tempérées. C'est une herbacée annuelle à croissance rapide et à racine tubérisée. La racine est consommée crue ou cuite. Les feuilles de certaines variétés sont consommables comme légumes. Les radis européens se divisent en radis d'été, petits, récoltables un mois après semis en conditions tropicales, et radis d'hiver, beaucoup plus gros (300 à 500 g) et de cycle plus long. Dans les zones tropicales, les radis japonais (appelés aussi radis chinois ou navet chinois), blancs et de forme allongée, sont particulièrement adaptés.

LA TOMATE

Lycopersicon esculentum

Anglais : tomato

Espagnol : tomate

Portugais : tomate

Famille des Solanaceae

● **Les utilisations de la tomate**

La tomate est cultivée pour ses fruits, utilisés en frais ou transformés en conserve. Lorsque la consommation se fait en salade, des fruits assez gros sont recherchés alors que pour les sauces les petits fruits sont préférés. Pour la conserve, le taux de matière sèche soluble, la couleur, le pH et la fermeté sont importants.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

Plante herbacée annuelle originaire des zones tropicales d'altitude d'Amérique du Sud, la tomate est cultivée dans l'ensemble de la zone intertropicale. La multiplication se fait par graines (environ 300 graines par gramme). La plantule produit de sept à quatorze feuilles composées avant de produire sa première inflorescence ou *bouquet*, cinquante à soixante-cinq jours après le semis. Ensuite les variétés à croissance indéterminée produisent un bouquet toutes les trois feuilles durant toute la vie de la plante.

Chez les variétés à croissance déterminée, un bouquet terminal apparaît après deux à quatre inflorescences et plusieurs bourgeons axillaires se développent alors. La floraison est concentrée sur une période limitée, suivie d'une période de croissance des fruits. De 45 à 55 jours séparent l'épanouissement de la fleur de la récolte du fruit, en

fonction de la température. Les rendements varient de 10 à 150 t/ha en fonction du type de culture (sous abri, hors-sol) et de la longueur du cycle.

● L'écologie de la tomate

La température optimale se situe entre 10 et 30°C, avec une croissance maximale vers 25°C. La tomate est peu sensible au photopériodisme, mais est exigeante en énergie lumineuse. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation. Combiné à de fortes températures diurnes et à des nuits tièdes (écart jour/nuit < 10°C), il conduit à l'avortement des fleurs et des fruits. Les périodes sèches et fraîches sont plus favorables à la production que les saisons pluvieuses et chaudes.

● La culture

● Les deux principaux systèmes de culture

● La culture de plein champ

Ce système de culture est le plus répandu. Si l'irrigation est disponible, les plantations peuvent être faites en saison sèche. La mécanisation est souvent réduite à la préparation du sol.

● La culture sous abri

Ce système de culture vise à produire tout au long de l'année. Il permet de développer des productions hydroponiques, supprimant ainsi certaines contraintes liées au sol.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

● Le choix variétal

Dans les zones tropicales de basse altitude, le premier critère de choix variétal est l'aptitude à nouer sous des températures élevées. Pour les zones d'altitude ou les saisons sèches des climats sahéliens, des variétés de zone tempérée peuvent être utilisées. En culture de saison chaude et humide, on choisit de préférence des variétés résistantes au flétrissement bactérien.

Tableau 3. Les variétés de tomate

Variété	Type	Adaptation température	Résistance à <i>ralstonia</i>	Résistance à <i>geminivirus</i>	Résistance aux <i>nématode</i>	Marché industrie	taille fruit
Caraïbo	Déterminé	Oui	Bonne				Moyen
Tropic Boy	Indéterminé	Oui	Moyenne				Gros
Mongal	Déterminé	Oui	Moyenne		Oui		Gros
Heat Master	Déterminé	Oui	Moyenne		Bonne		Gros
Jackal	Déterminé	Oui		Oui			Petit
Xina	Déterminé	Oui	Moyenne		Oui		Petit
Rio Fuego	Déterminé	Oui			Oui	Oui	Moyen
Rosol	Déterminé	Oui			Oui	Oui	Moyen

Des variétés créées par l'AVRDC adaptées aux fortes températures et tolérantes au flétrissement bactérien sont utilisées en Asie sous différents noms.

● **La mise en place de la culture**

Le semis se fait en pépinière, soit sur terreau avec éventuellement un repiquage avant plantation, soit en mottes de terreau compressé. Il faut 100 à 500 m² de pépinière pour planter un hectare. La plantation se fait quand la tige a le diamètre d'un crayon, soit trente à quarante jours après le semis. La densité à l'hectare varie de 18 000 plants en saison humide à 25 000 plants en saison sèche, voire 35 000 plants pour les variétés de conserve.

● **Le tuteurage et la taille**

Les variétés indéterminées sont conduites sur un ou deux bras en éliminant tous les rameaux secondaires. En saison chaude et humide, les variétés déterminées sont conduites sur grillage ou palissées entre deux rangées de deux fils, avec un égourmandage des deux ou trois premiers rameaux latéraux. Les variétés de conserve ne sont ni taillées ni tuteurées.

● **La maîtrise des mauvaises herbes**

Elle peut être réalisée par binage, par voie chimique et par paillage. Des herbicides de pré-plantation sont utilisables : flurochloridone, métribuzine ou pendiméthaline. En cours de culture, la métribuzine ou des herbicides spécifiques antigraminées peuvent être employés. Les interlignes peuvent être entretenus avec un herbicide total appliqué avec un cache.

● **Les besoins en eau et l'irrigation**

Tableau 4. Variation du coefficient Kc

Période	Croissance végétative	Grossissement des fruits	Récolte
Kc	0,8	1,2	1

L'irrigation peut aussi se gérer par mesure de la tension d'eau dans le sol. Dans ce cas, il faut chercher à obtenir une tension variant entre 150 et 250 mbar.

● **La fertilisation**

Les exportations (fruits, tiges et feuilles), pour une récolte de 50 t, correspondent à 130 unités N, 50 unités P₂O₅, 250 unités K₂O, 200 unités CaO et 35 unités MgO.

Il est préférable de fractionner les apports d'engrais de la manière suivante :

- > apport avant plantation de la totalité du phosphore, du calcium et du magnésium, plus 50 kg/ha d'azote et 100 kg/ha de potassium ;
- > apports en cours de culture, tous les quinze jours, du complément en azote et potassium.

● La défense des cultures

Les principaux ravageurs sont les aleurodes (*Bemisia tabaci* et *B. argentifolii*, tous deux vecteurs de nombreux virus, *Trialeurodes vaporariorum* dans les zones plus fraîches), le thrips *Frankliniella occidentalis* en zones fraîches (vecteur du virus TSWV), les mouches mineuses (*Liriomyza spp.*), les chenilles de noctuelles (*Heliothis spp.*), les mouches des fruits (plusieurs espèces), les pucerons, les acariens (tétranyques, acariose bronzée) et les nématodes (*Meloidogyne sp.*).

Les principales maladies sont le flétrissement bactérien (dû à *Ralstonia solanacearum*), la gale bactérienne (due à *Xanthomonas vesicatoria*) et les champignons du feuillage (cladosporiose, oïdium, corynespora, alternaria, mildiou dans les régions à pluies froides, etc.). Divers virus affectent les cultures et les geminivirus (TYLCV, PYMV...) transmis par aleurodes sont parmi les plus importants.

Des moyens de lutte chimique sont utilisables mais doivent être raisonnés pour éviter l'apparition de résistances et permettre le développement de la lutte biologique. Les traitements sont curatifs contre la plupart des ravageurs et maladies, sauf pour les aleurodes ou les thrips en présence de virus, pour les acariens et pour les *Heliothis* dans les zones infestées et pour la gale bactérienne (traitements préventifs toutes les deux semaines en zone humide). Les matières actives recommandées sont :

- > contre les aleurodes : imidachlopride, pyriproxyphène ;
- > contre les mouches mineuses : cyromazine, abamectine ;
- > contre les thrips : abamectine, imidachlopride, acrinathrine ;
- > contre les chenilles : produits à base de *Bacillus thuringiensis*, phosalone, endosulfan ;
- > contre les pucerons : pyrimicarbe, imidachlopride, endosulfan, tau-fluvalinate ;
- > contre les acariens : acaricides spécifiques (nombreux produits) ;
- > contre les mouches des fruits : insecticides non sélectifs utilisés sur les adultes. D'autres méthodes sont à l'étude ;
- > contre la gale bactérienne : produits à base de cuivre.

Contre les virus il n'existe pas de traitement. Il faut se protéger au mieux des insectes vecteurs, réaliser une prophylaxie rigoureuse (pépinières étanches aux insectes, élimination rapide des vieilles cultures, désherbage...), utiliser des variétés résistantes quand cela est possible.

● La récolte et les opérations post-récolte

Pour les variétés à destination du marché de frais, la récolte s'effectue tous les deux à trois jours. Les fruits sont récoltés au stade tournant (passage du vert au rose). Ces fruits sont à maturité trois à quatre jours plus tard s'ils sont conservés à 25-30°C ou vingt à trente jours plus tard s'ils sont entreposés en chambre froide à 13°C. Les tomates industrielles sont récoltées rouges et transportées à l'usine en moins de deux journées.

● La production actuelle et les perspectives

La production mondiale a augmenté de 35 % au cours des dix dernières années. L'Asie assure 45 % de cette production suivie de l'Europe (22 %), l'Afrique (12 %), l'Amérique du Nord (11 %) et l'Amérique du Sud et centrale (8 %).

Le développement rapide des villes dans le Sud et les changements d'habitudes alimentaires induisent une demande en forte augmentation pour la tomate. En Asie, la production a doublé au cours des dix dernières années.

Bibliographie générale cultures légumières

- AUTISSIER V., 1994 - *Jardin des villes, jardin des champs*, GRET, Coll. Le point sur, Paris, Ministère de la Coopération, 159 p.
- BEUCHER P., 1996 *Le jardin potager*, Paris, Nathan
- DALY P.; DE BON H.; DENOYES, B., 1986, *Les cultures maraîchères et vivrières en Martinique* - Notes techniques, Fort de France, CIRAD-IRAT, 197 p.
- KROLL R., 1994, *Les cultures maraîchères*, ACCT; CTA, Coll. Le technicien d'agriculture tropicale, Paris, Maisonneuve et Larose, 219 p.
- MESSIAEN C.M., 1998 - *Le potager tropical* - 3ème édition refondue, ACCT ; CILF, Coll. techniques vivantes, Paris, P.U.F. 583 p.
- TINDALL H.D., 1983, *Vegetables in the tropics*, London, Macmillan International College Edition, 533 p.
- WILLIAMS C.N.; UZO, J.O.; PEREGRINE W.T.H., 1991, *Vegetable production in the tropics*, Coll. Intermediate Tropical Agriculture, New – York, Longman Scientific & Technical, John Wiley & sons, 179 p.
- ZUANG H., 1991, *Mémento - nouvelles espèces légumières*, Paris, CTIFL, 359 p.

Bibliographie sur des cultures spécifiques

L'aubergine

- CHAUX CL., FOURY Cl. 1994 - *Productions légumières* - Tome 3, Tec et doc Lavoisier, coll. Agriculture d'aujourd'hui.

Le gombo

- HAMON, S., and CHARRIER, A., 1997 - *Les gombos*. In « L'amélioration des plantes tropicales » (CIRAD and ORSTOM, eds.), pp. 313 - 333, Paris.

L'oignon

- BREWSTER, J.L. 1994. *Onions and the other vegetable alliums*. Collection Crop production sciences in horticulture. CAB International. Wallingford, 236 pp.
- MOREAU B. ; LE BOHEC J. ; GUERBER-CAHUZAC B., 1996 - *L'oignon de garde*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, 320 pp.

La tomate

- AVRDC, 1990 - *Vegetable production training manual*.
- BEZERT J. ; GIOVINAZZO R. ; Vallat O., 1999 - *Guide cultural de la tomate d'industrie*. Edition 1999, SONITO, 125 p.
- BIÈCHE B., 1999. *Proceedings of the sixth international ISHS symposium on the processing tomato and Workshop on irrigation and fertigation of processing tomato*. ACTA Hort. 487, ISHS 1999, 579 p.

Les plantes stimulantes

À partir des contributions de M. Barrel (CIRAD), J.L. Battini (CIRAD), D. Duris (CIRAD), C. Hekimian Lethève, O. Trocmé (CIRAD)

- > Le cacaoyer
- > Le caféier
- > Le guarana
- > Le kolatier
- > Le maté
- > Le tabac
- > Le théier

LE CACAOYER

Theobroma cacao L.

Anglais : cocoa

Espagnol : cacao

Portugais : cacau

Famille des Sterculiaceae

● **Les utilisations du cacaoyer**

La culture du cacaoyer remonte à plus de trois mille ans. La transformation en boisson puis en chocolat solide des graines contenues dans les fruits, appelés cabosses, est devenue actuellement une industrie importante. Celle-ci passe par la production à grande échelle de cacao, de beurre de cacao et de tourteaux, avant d'aboutir aux divers produits finis de la chocolaterie. Les sous-produits de cette industrie sont de peu d'intérêt économique.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine des espèces**

Le cacaoyer est originaire des forêts tropicales humides d'Amérique centrale et du Sud. Il y était cultivé par les Mayas bien longtemps avant la venue des Européens. Sa culture arrive en Asie dès le XVI^e siècle, tandis que son introduction en Afrique, principale région actuelle de production, ne date que du début du XIX^e siècle. Le cacaoyer appartient à la famille des Sterculiaceae. La seule espèce cultivée commercialement est *Theobroma cacao* L. Celle-ci se répartit en trois grands groupes : Criollo, Forastero et Trinitario.

● **Les caractéristiques morphologiques du cacaoyer**

Le cacaoyer est un arbre atteignant son plein développement entre six et huit ans. Il mesure alors 4 à 6 m de hauteur en plantation. Il entre en production à deux ans (variétés sélectionnées) et est généralement productif pendant vingt-cinq à trente ans. Cependant il peut parfois être exploité pendant plus de cinquante ans.

Après environ dix-huit mois de croissance orthotrope, la tige donne naissance à une couronne de cinq branches. Le port des branches et des ramifications secondaires est plagiotrope. Leur croissance est indéfinie mais discontinue. Elle se fait par poussées foliaires successives, dénommées *flushes*, séparées par des périodes de repos. La feuille est entière. Le limbe peut atteindre 50 cm. Elle vit un an. Le système racinaire comporte un pivot, qui donne naissance à des racines latérales. Celles-ci se développent surtout dans la couche humifère superficielle du sol.

La graine, de forme subtrapézoïdale, arrondie et plate, mesure 2 à 3 cm de long. Dans le fruit, elle est enveloppée par une pulpe mucilagineuse blanche, de saveur sucrée et acidulée. Elle est recouverte d'un tégument et se compose essentiellement des deux cotylédons dont la couleur peut varier du blanc au violet foncé. Elle ne contient pas d'albumen. Elle est très riche en matière grasse (50 à 55 % de beurre de cacao) et elle contient en moyenne 1,2 % de théobromine (alcaloïde voisin de la caféine). La graine de cacao est prête à germer dès que le fruit commence à mûrir. Son pouvoir germinatif se perd en quelques heures après son extraction de la cabosse.

Le cacaoyer fleurit toute l'année. Les fleurs apparaissent toujours sur le bois (tronc et branches) âgé de plus d'un an, réparties en groupes sur des renflements appelés cousinets floraux. Les fleurs sont très petites et de couleur blanchâtre à rosé. La pollinisation est strictement entomophile. On observe de nombreux cas d'incompatibilité chez les fleurs de cacaoyer : auto-incompatibilité et même incompatibilité entre clones d'un même groupe génétique.

Le cacaoyer donne plusieurs dizaines de milliers de fleurs par an mais ne produit que quelques dizaines de fruits. Le développement du fruit dure cinq à sept mois. Ce fruit est une baie, appelée cherelle au début de son développement, puis cabosse. De nombreuses cherelles n'arrivent pas à maturité et se dessèchent. Ce phénomène est de nature physiologique. Une cabosse de taille moyenne pèse 400 g et contient 100 g de fèves fraîches qui donneront 35 à 40 g de cacao marchand.

● **Les principaux groupes et la variabilité génétique**

On distingue deux grands groupes et un troisième issu des deux premiers :

- > *les Criollo*, aux fruits verts ou rouges avant maturité, verruqueux, de forme allongée et dont les fèves sont blanches. Celles-ci donnent un chocolat fin et aromatisé. Les fèves de Criollo représentent 1 % de la production mondiale. Les Criollo sont généralement auto-incompatibles ;
- > *les Forastero amazoniens* comportent les variétés hautes amazoniennes et basses amazoniennes, dont la plus connue est l'Amelonado. Les Forastero sont très répandus au Brésil, dans l'Ouest africain et en Asie. Leurs cabosses sont de couleur verte, devenant jaune à maturité, de forme ovale, sans sillon profond et à coque épaisse et dure. Les fèves sont de couleur violet foncé et plates. Elles constituent la quasi totalité des cacaos courants et environ 80 % de la production mondiale.

L'auto-incompatibilité est de règle chez les Forastero hauts amazoniens (qui par ailleurs peuvent être compatibles entre eux), mais rare chez les autres ;

- > les *Trinitario* sont des hybrides issus des deux premiers groupes et sont cultivés dans tous les pays producteurs. Ils fournissent environ 20 % de la production mondiale de cacao.

Trois grandes collections de variétés de cacaoyers

Cette diversité morphogéographique a été confirmée par analyse biochimique et moléculaire. Plus de 5 000 génotypes de ces trois formes sont conservés dans trois grandes collections établies au CRU (Trinidad), au CEPLAC (Brésil) et au CATIE (Costa Rica).

On estime que le quart seulement des cacaoyers cultivés seraient des variétés hybrides sélectionnées, souvent issues de croisements inter-groupes, et 5 % des variétés clonales. Les 70 % restant seraient des populations peu ou pas sélectionnées. Les critères de sélection sont la productivité, la résistance aux maladies, la résistance aux ravageurs et la qualité.

● L'écologie du cacaoyer

L'écologie du cacaoyer est celle des forêts au climat chaud et humide, sans saison sèche prolongée :

- > la température moyenne annuelle optimale est 25°C. Le minimum absolu est de 10°C ;
- > la pluviométrie optimale est de 1 500 à 2 500 mm. Les périodes sèches ne doivent pas excéder trois mois. Le taux d'humidité relative de l'air doit être élevé (optimum : 85 %) ;
- > le jeune cacaoyer a besoin d'être protégé d'un éclaircissement trop intense pendant les trois premières années. Cependant, dans les régions où l'éclaircissement incident est inférieur à 1 800 heures/an, le plein potentiel productif du cacaoyer est obtenu en plein soleil, sous condition d'apports rigoureux et réguliers d'intrants afin d'entretenir la fertilité des sols et de protéger les arbres d'une pression parasitaire très intense au soleil. Si le recours aux intrants n'est pas assuré, il est généralement préférable de procéder à l'installation (ou au maintien) d'un ombrage permanent interceptant entre 20 et 40 % du rayonnement ;
- > les propriétés physiques du sol importent tout autant que ses propriétés chimiques. Le sol doit assurer une bonne rétention de l'eau mais les racines ne doivent pas être asphyxiées. Le sol doit être légèrement acide et sa teneur en matière organique élevée dans l'horizon supérieur ;
- > le cacaoyer peut pousser jusqu'à 1 000 m d'altitude sous l'équateur. À la latitude de 20° Nord ou Sud, seul le niveau de la mer lui convient.

● La culture

● Les principaux systèmes de culture

La production cacaoyère mondiale est assurée à 90 % par des exploitations familiales de moins de 10 ha. La production de type industrielle, recourant fortement aux intrants (engrais et pesticides) existe surtout en Amérique latine et en Asie mais est exceptionnelle en Afrique ; sa productivité moyenne est d'une à deux tonnes et demi de cacao marchand par hectare. En exploitation familiale, la productivité est en général de 300 à 700 kg/ha, mais elle dépasse 1 t/ha dans les systèmes intensifiés de Sulawesi (Indonésie).

Les plantations sont généralement créées à partir de semences, sélectionnées (hybrides inter-groupes notamment) ou non. Ces dernières années, on observe cependant un regain d'intérêt pour les plantations clonales (greffage ou bouturage, principalement en Malaisie et en Equateur).

Dans le système de culture paysan implanté sur défriche forestière, le seul capital nécessaire est le travail. Mais cette pratique ne permet pas d'installer un système stable. En effet, la rentabilité de la plantation décroît après une trentaine d'années et son renouvellement s'impose. Or, cette opération s'avère toujours beaucoup plus risquée (appauvrissement des sols et forte pression parasitaire) et coûteuse que la mise en place d'une nouvelle parcelle sous forêt. On assiste par conséquent à un lent déplacement des zones de production paysannes vers les forêts primaires encore intactes (fronts pionniers). Cette fuite en avant trouve aujourd'hui ses limites dans des pays comme la Côte d'Ivoire où pratiquement tout l'espace forestier a été colonisé.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

● La mise en place de la culture

Le sol doit être humifère, profond et argilo-sableux, avoir un bon équilibre chimique et un pouvoir de rétention en eau élevé pour assurer une alimentation hydrique aussi constante que possible. La préparation traditionnelle du terrain consiste en un abat-tage partiel du couvert forestier.

Un minimum d'ombrage (la moitié de la luminosité totale) doit être maintenu à la plantation afin d'éviter les effets néfastes du plein soleil sur les jeunes plants. Si l'abat-tage du couvert forestier a été trop important ou total, il faut procéder, six à huit mois avant la plantation des jeunes cacaoyers, à l'installation d'un ombrage provisoire, si possible rémunérateur pour le planteur (bananier plantain, voire papayer, cf. chapitre 516).

Cet ombrage temporaire est planté en interligne (quinconce) à la même densité que les cacaoyers, puis totalement éliminé en troisième ou quatrième année (jonction des couronnes). Par ailleurs des arbustes à croissance rapide de la famille des légumi-neuses (*Gliricidia*, *Erythrina*, *Albizia*) peuvent être utilisés en ombrage temporaire puis définitif (10 x 10 m) si l'ombrage est jugé insuffisant.

Pour rentabiliser la parcelle durant la période improductive, la plantation de cultures vivrières en interligne (igname, taro, riz, arachide quelquefois), la première voire la deuxième année, a donné des résultats intéressants pour le petit planteur.

Un nettoyage d'un rayon de 50 cm autour du plant de cacaoyer doit être régulièrement effectué, ainsi qu'une protection phytosanitaire des bourgeons.

En grande plantation, l'abattage mécanique de la forêt, le dessouchage et l'andainage doivent être réalisés avec beaucoup de précautions afin d'éviter un tassement du sol et un déplacement de l'horizon superficiel.

L'installation d'une cacaoyère en plein soleil a montré ses limites. Elle nécessite une grande rigueur dans l'application d'intrants tels qu'engrais et produits phytosanitaires. Il est préférable de conduire la plantation sous ombrage régulé (*Erythrina*, *Inga*, *Albizia*, *Acacia*) si un doute subsiste quant au strict respect des calendriers de traitements et d'entretien.

Dans le cas de la replantation d'une vieille cacaoyère, les méthodes varient en fonction des conditions écologiques et des contraintes économiques : replantation juste après abattage total, replantation sous les vieux cacaoyers (suivi de l'abattage progressif des vieux arbres en trois ans), replantation partielle par bandes (par exemple en layons de 6 m, séparés par des bandes de 6 m où sont maintenus les vieux cacaoyers ; la replantation s'effectue à l'espacement de 3 m x 2,5 m et au bout de quatre ans, la bande de vieux cacaoyers est arrachée à son tour et replantée).

● La pépinière

La pratique du semis direct est déconseillée, la plantation de plants issus de pépinière permettant un meilleur établissement, une entrée en production plus précoce et un meilleur contrôle de la densité. La pépinière est constituée par un abri admettant la moitié de la luminosité extérieure. Les fèves, dépourvues de leur mucilage, sont semées dans des sachets de polyéthylène perforés de 30 cm de hauteur et de 12 cm de diamètre, entièrement remplis de bonne terre végétale de surface. La fève est enfoncée à 1,5 cm de profondeur, le hile (attache de la fève au rachis de la cabosse) vers le bas (en cas de doute, il faut semer à plat). Compte tenu des pertes à la germination et en pépinière, il faut prévoir 2 000 plants par hectare à planter. Cela équivaut à cinquante à soixante cabosses mûres et 80 m² de pépinière, en disposant les sachets en rangées jumelées de vingt sachets distantes de 20 cm des autres.

● La plantation

Les distances de plantation varient en fonction de la nature du sol, des conditions climatiques, des méthodes culturales pratiquées et des variétés plantées. Les écartements recommandés sont de :

> 2,5 m x 2,5 m au Centre-Sud Cameroun, soit 1 600 pieds/ha, parce que les sols sont très désaturés et que le développement des cacaoyers est moindre ;

> 3 m x 2,50 m en Côte d'Ivoire, soit 1 333 pieds/ha.

L'espacement de 3 m x 3 m (1 111 pieds/ha) est utilisé dans de bonnes conditions de sol et de climat. Cela permet une circulation plus facile dans la plantation.

La mise en place des cacaoyers est effectuée après une trouaison à 40 cm au cube dans le but d'ameublir le sol. Il faut apporter un soin particulier à l'aménagement de l'ombrage, qu'il soit temporaire ou définitif.

Si l'on plante des bananiers plantains, ceux-ci seront installés au cours de l'année précédant la plantation des cacaoyers, à raison d'un bananier par cacaoyer dans l'interligne de plantation, pour un espacement des cacaoyers de 3 m x 2,50 m, ou dans la ligne de plantation pour un espacement de 3 m x 3 m.

Dans les régions à saison sèche marquée, il est recommandé de pailler les jeunes cacaoyers avec des résidus végétaux ou avec un film de polyéthylène noir d'un mètre de largeur et de 70 μ m d'épaisseur.

● **L'entretien**

Le remplacement des manquants (10 à 20 % sur deux ans suivant les conditions de milieu) doit être fait le plus vite possible et régulièrement pendant les deux premières années. Le réglage de l'ombrage constitue un des travaux d'entretien les plus importants d'une jeune plantation. Le désherbage, ou rabattage du recrû, doit être effectué régulièrement le long des lignes de plantation sur une largeur de 1 m, ou en détourage sur un rayon de 50 cm autour du pied. Il peut être assuré par des herbicides. En plantation adulte, la fermeture des frondaisons et l'abondance de la litière de feuilles limite très fortement la croissance des adventives.

La protection phytosanitaire des jeunes plants (surtout insecticide) doit être effectuée régulièrement en respectant les dates et rythmes d'application (protection du bourgeon terminal jusqu'à la formation de la couronne).

● **La taille**

La taille de formation : tant que le bourgeon terminal continue sa croissance, seuls les égourmandages (élimination des rejets à la base) sont nécessaires. Si la couronne se forme en dessous de 1,20 m, on conserve un gourmand qu'on laisse se développer au-dessus de la première couronne (baïonnette). Ce gourmand formera une nouvelle couronne à bonne hauteur. La première couronne, étant ombragée, dépérira et sera supprimée.

La taille d'entretien : des égourmandages réguliers sont faits tous les deux mois, sur jeunes plants ; puis tous les trois à quatre mois après entrée en production. La couronne doit être maintenue dans son intégrité (cinq branches principales) et les frondaisons ne sont taillées que si il y a un enchevêtrement trop important des ramifications secondaires de cacaoyers voisins. Cela facilite une meilleure ventilation de la cacaoyère. Là où elle est nécessaire, cette taille d'entretien est complétée par une taille phytosanitaire (élimination des parties atteintes).

● **La fumure**

L'utilisation des engrais est encore peu courante en cacaoculture. Son effet sur la production dépend beaucoup des conditions de culture. Il est faible sous ombrage permanent. La fertilisation s'avère, en revanche, très intéressante sur des cacaoyers hybrides à forte productivité, convenablement entretenus et déparasités, cultivés en plein soleil ou sous ombrage diffus régulé.

La méthode du «diagnostic-sol»

Mise au point par le CIRAD en Côte d'Ivoire, cette méthode permet de calculer les besoins en engrais d'une cacaoyère, sur la base des déséquilibres chimiques constatés dans l'horizon superficiel du sol et de la compensation des exportations en éléments minéraux dues à la production (une tonne de cacao marchand correspond en moyenne à l'exportation de 45 kg de N, 13 kg de P_2O_5 , 65 kg de K_2O , 10 kg de CaO et 13 kg de MgO). En utilisant cette méthode, la production a pu être augmentée de 40 % en Côte d'Ivoire ou au Togo sur des cacaoyères conduites de manière intensive. En Afrique de l'Ouest, la fertilisation azotée a généralement un effet dépressif sur le rendement. Par contre, le phosphore augmente significativement la floraison et donc la production de cabosses. Le potassium améliore quant à lui le taux de nouaison.

On peut donner l'exemple suivant de fertilisation en Côte d'Ivoire (par pied/an) : 140 g de TSP + 280 g de KCl + 160 g de $MgSO_4$.

● La défense des cultures

Les pertes provoquées par les maladies, les insectes et les ravageurs sont évaluées à plus de la moitié de la production potentielle.

Les insectes

Les dégâts les plus importants sont dus à une famille d'insectes piqueurs de morphologies diverses : les mirides. On peut citer la tribu des Monalonini : *Helopeltis* (moustique du cacaoyer), *Monalonion* (poux du cacaoyer), et celle des Odoniellini : *Sahlbergella*, *Distantiella*. Les piqûres, principalement sur cabosses et jeunes rameaux, se traduisent par des nécroses pouvant entraîner la mort de ces derniers. Faute de soins, toute la frondaison peut être détruite.

Légourmandage est un moyen de lutte qui prive les insectes d'une importante source de nourriture. En lutte chimique, suite à l'apparition de résistances, le Lindane (organochloré) est remplacé par l'endosulfan 40 CE, employé à 250 g de ma/ha. L'utilisation en alternance d'insecticides de familles différentes est recommandée : propoxur, fenobucarb, isoprocarb (carbamates), diazinon, diastar (mélange binaire diazinon-bifenthrin) etc.

Les périodes de traitement recommandées varient suivant les zones et selon les cycles évolutifs des mirides. En Côte d'Ivoire, des interventions sont à prévoir en septembre, octobre et si besoin en janvier. Au Cameroun, elles ont lieu en juillet et août. Un traitement comporte deux passages à vingt huit jours d'intervalle.

La punaise pentatomide (*Bathycoelia ovalis*) est responsable du jaunissement précoce des cabosses avec avortement des fèves en formation. Les cochenilles ou coccides du cacaoyer sont responsables de la transmission de maladies à virus (*Swollen Shoot*).

Citons encore les cicadelles sur jeunes feuilles anthocyanées, les coléoptères borers des tiges, les coléoptères et les lépidoptères défoliateurs, les déprédateurs du bourgeon terminal (*Mesohomotoma tessmanni*, *Earias biplaga*), la chenille mineuse des troncs et des branches, les chenilles mineuses des cabosses et le thrips du cacaoyer qui attaque les feuilles et les fait tomber.

Le *Cocoa pod borer* (CPB) constitue actuellement un facteur limitant pour le développement de la cacaoculture dans certains pays du Sud Est asiatique (Indonésie, Malaisie, Philippines). Les pertes peuvent aller jusqu'à 70 % voire 100 % de la récolte.

Les techniques de lutte présentent une certaine efficacité mais ont toutes l'inconvénient d'être lourdes et onéreuses.

Les maladies cryptogamiques et virales

La présence de *Phytophthora sp* est relevée dans tous les pays où le cacaoyer est cultivé. Ce champignon provoque une pourriture des cabosses dénommée pourriture brune (*black pod* en anglais). L'infection, née de la pénétration d'une zoospore dans le péri-carpe, est visible après deux à trois jours sous l'aspect d'une tache brune qui va porter des sporocystes quatre à cinq jours plus tard. Matures en quelques heures en atmosphère humide, ceux-ci libèrent leurs zoospores, qui sont dispersées par les fortes pluies. L'espèce *P. palmivora* est la plus répandue. L'espèce *P. megakarya* est beaucoup plus virulente. Elle n'existe qu'en Afrique et en particulier au Cameroun, au Nigeria, au Ghana et au Togo. Des pratiques culturales sanitaires rigoureuses (taille, réduction de l'ombrage et récolte des cabosses malades) sont généralement insuffisantes pour un contrôle effectif de la maladie. Elles doivent être complétées par une protection préventive chimique. L'oxyde cuivreux ou le sulfate de cuivre (à 0,5g de ma/l) peuvent être pulvérisés ou atomisés.

La maladie des *balais de sorcière* est causée par un Basidiomycète *Crinipellis perniciosus* qui pénètre les tissus très jeunes et entraîne la formation d'excroissances végétatives anarchiques. Sur coussinets floraux, la maladie entraîne la formation de fleurs hypertrophiées et de fruits stériles. Les attaques sur cabosses sont graves quand celles-ci ont moins de douze semaines. Dans la cabosse jaunie et nécrosée, les fèves sont agglomérées, mal développées et solidaires de la coque. L'enlèvement régulier des *balais* sur le tronc et les rameaux peut aboutir à une certaine protection.

La moniliose est due à l'agent pathogène *Momiliophthora roveri* dont l'incubation est longue. Il déforme les cabosses avant de provoquer une pourriture brune puis blanche. Les récoltes sanitaires hebdomadaires sont actuellement la seule méthode de lutte économique. À l'inverse des cabosses atteintes de pourriture brune, celles atteintes de moniliose peuvent être laissées dans la plantation car le champignon perd rapidement son pouvoir infectieux.

Le *swollen shoot*, ou gonflement des rameaux, est une maladie de nature virale qu'on ne sait contrôler que par l'arrachage des arbres malades. Elle est présente au Ghana et au Togo. Le *vascular streak disease* est provoqué par le Basidiomycète *Oncobasidium theobromae*. Les premiers symptômes sont le jaunissement et la chute des feuilles vertes formées avant la dernière poussée foliaire. La sélection génétique a permis de surmonter cette maladie (clones résistants).

Les autres parasites

Les rats et les écureuils rongent les cabosses et peuvent entraîner des pertes de plus de la moitié de la récolte. Les singes sont également friands des cabosses mûres.

● Les temps de travaux

Estimation en journées de travail (de cinq à six heures) pour un hectare de cacaoyers, pour une densité de plantation de 1333 pieds/ha (écartement 3m x 2,5m), avec un ombrage provisoire à la même densité (Bananiers, *Gliricidia*) et un ombrage définitif (si nécessaire) à densité de 100 arbres/ha (écartement 10m x 10m), sans plante de couverture ni culture vivrière.

Tableau 1. Temps de travaux sur une pépinière de cacaoyer (80 m² pour 2 000 pieds)

Opération	Temps de travail (jours)
Construction de l'ombrière	4
Etablissement des plates-bandes	2
Approvisionnement en terre (5 à 6 m ³)	6
Remplissage des sachets (300/jour)	7
Semis des graines	2
Entretien - arrosages	25
Total	46

Tableau 2. Temps de travaux pour la préparation de la parcelle en forêt

Opération	Temps de travail (jours)
Délimitation	3
Abattage du sous-bois	13 à 20
Abattage tronçonneuse	50
Extraction des souches et andainage	60
Brûlis des andains	10
Piquetage pour cacaoyers : coupe et piquetage (200/jour)	21
Piquetage pour ombrage provisoire	x
Bananiers plantain	14
Gliricidia	18
Piquetage pour ombrage définitif (si nécessaire)	11
Trouaison (40 cm au cube)	25 à 35
Rebouchage des trous	7
Réalignement des piquets	7
Total	239 à 256

Tableau 3. Temps de travaux pour la plantation des cacaoyers

Opération	Temps de travail (jours)
Désherbage préalable : manuel (8j) ou chimique (2j)	2 à 8
Transport des plants	10
Plantation	18
Chapeaux en feuilles de palme	18
Contrôle et remplacements (10%)	8
Total	56 à 62

Tableau 4. Temps de travaux pour la plantation de l'ombrage provisoire

Opération	Temps de travail (jours)
Bananiers	
Désherbage préalable	2 à 8
Transport des rejets	10
Plantation	25
Nématicide	3
Contrôle et remplacements	5
<i>Gliricidias</i> (plantation réalisée au moment du piquetage)	0
Total	45 à 61

Tableau 5. Temps de travaux pour la plantation de l'ombrage définitif

Opération	Temps de travail (jours)
Si boutures (ex. : <i>Erythrina</i>), trouaison légère	3
Si plants (ex. : <i>Albizia</i> , <i>Acacia</i> , <i>Inga</i>) trouaison et plantation	7
Désherbage	4
Total	14

Tableau 6. Temps de travaux pour l'entretien

Pour chacune des trois premières années		Pour chaque année suivante (plantation fermée)	
Opération	Temps de travail (jours)	Opération	Temps de travail (jours)
Désherbage chimique (6 passages)	12	Désherbage (4 passages)	16
Désherbage par fauchage (7 passages)	42	Élimination des bananiers	4
Taille de formation et égoumandage (8 passages)	16	Egourmandage (6 passages)	6
Détourages	10	Régulation de l'ombrage	6
Traitements insecticides (4 passages)	8	Traitements insecticides (4 passages)	8
Engrais (3 épandages)	6	Traitements fongicides (suivant nécessité) p.m.	
Régulation de l'ombrage		Engrais (3 épandages)	6
Récolte des régimes de bananes	16		
Eclaircie des rejets de bananiers (3 passages)	9		
Total	119	Total	46

Tableau 7. Estimation du temps de travail pour la préparation d'une tonne de cacao marchand

Opérations	Temps de travail (jours)
Récolte (1 500 cabosses/jour)	17
Ecabossage (1 500 cabosses/jour)	17
Fermentation et séchage	16
Total	50

● La récolte et les opérations post-récolte

● La récolte

La récolte se fait manuellement, à l'aide de sécateurs, de machettes ou d'émondoirs. Il ne faut pas blesser le coussinet floral où est attachée la cabosse car il porte les récoltes à venir. Il est important de ne récolter que des cabosses à bonne maturité, en pratiquant plusieurs passages.

● L'écabossage

C'est l'opération qui permet d'ouvrir les cabosses et d'en extraire les graines de cacao. Elle est faite soit directement au champ, soit sur les lieux du traitement post-récolte après transport des cabosses. Dans le premier cas, les débris de cabosse (cortex) sont laissés au champ (avec des risques de contamination fongique).

Dans le second cas, se pose le problème de l'évacuation des débris de cabosse et de leur valorisation (les débris représentent 70 % du poids de la cabosse).

L'utilisation d'instruments tranchants (couteaux, machettes), qui peuvent blesser les graines est à proscrire. Des gourdins sont préférables. La séparation des fèves entre elles et l'élimination des débris favorisent une bonne fermentation.

● La fermentation

La fermentation du cacao est l'étape la plus importante de la première transformation. Elle a pour but d'éliminer une grande partie de la pulpe qui entoure les graines, de supprimer leur pouvoir germinatif et de développer les précurseurs de l'arôme. L'absence de fermentation conduit à des fèves sans potentiel aromatique, de couleur ardoisée après séchage. Elle constitue un défaut majeur du cacao.

Les graines sont mises en tas sur des feuilles de bananier ou dans des paniers ou encore dans des caisses de bois (charge de 100 à 1 000 kg). La fermentation dure de deux à huit jours, suivant les types de cacao (*criollo* < *trinitario* < *forastero*) et les conditions climatiques (elle est plus longue en période froide). Des brassages d'aération sont effectués à intervalles réguliers (séquence recommandée : 24h - 48h - 96 h).

Les fermentations vraies se déroulent dans la pulpe, pendant que dans les cotylédons de la graine se produisent des transformations biochimiques importantes pour l'arôme. Au bout d'une à deux jours, la réaction dégage de la chaleur et la température peut atteindre 50°C. Il faut veiller à arrêter la fermentation à temps pour éviter la formation de goûts indésirables. À ce stade, les fèves sont devenues brun violacé, elles ont gonflé et l'intérieur s'est craquelé.

● Le séchage

Le but du séchage est d'arrêter la fermentation, de diminuer la teneur en eau des fèves fermentées de 55 % à 7 % pour assurer leur bonne conservation et d'éliminer une partie de l'acide acétique formé pendant la fermentation (environ 40 %). Un mauvais séchage conduit à des fèves moisies, autre défaut majeur du cacao.

Le séchage solaire sur aire cimentée ou sur claie est le plus employé. Il dure entre une et trois semaines et demande des surfaces de séchage importantes (40 m² par tonne de cacao fermenté) et une main-d'œuvre nombreuse (pour brasser le cacao quatre fois par jour et pour l'abriter la nuit et en cas de pluie). En région très humide, les aires de séchage doivent être protégées par des aménagements (tente ventilée par exemple).

Si les quantités à sécher sont élevées, le séchage artificiel sous air chaud est nécessaire. Un tel séchage dure de quinze à quarante-huit heures. Son inconvénient majeur est de bloquer une grande partie de l'acide acétique dans la fève et de disperser beaucoup de calories dans l'atmosphère. Il est impératif d'utiliser un échangeur de chaleur pour éviter la fixation d'odeurs étrangères sur les fèves. Le cacao est sec quand il croustille si on le presse dans la main.

● Le stockage

Le cacao est un produit très difficile à conserver en climat équatorial. Le risque de reprise d'humidité est important, avec des conséquences néfastes pour la qualité.

Il faut toujours conserver les sacs de cacao dans des lieux correctement aérés, à l'abri des rongeurs et loin de sources d'odeurs étrangères (fumées, fuel).

● La production actuelle et les perspectives

● L'évolution des zones de production

Le cacaoyer est cultivé dans 45 pays de la zone équatoriale. La Côte d'Ivoire fournit à elle seule 40 % de la production mondiale : 1 400 000 t en 2000. Le Ghana arrive en second, mais avec seulement 400 000 t. Viennent ensuite l'Indonésie, le Nigeria, le Brésil, le Cameroun, la Malaisie et l'Equateur. Ces huit pays produisent à eux seuls 90 % de la production mondiale.

● L'organisation et l'évolution de la filière

La production mondiale de cacao provient majoritairement de petites exploitations familiales qui assurent la culture et la première transformation. Les coopératives de producteurs sont généralement peu actives. Le cacao marchand est vendu à une chaîne de collecteurs, grossistes et exportateurs qui réalisent le tri et le conditionnement du cacao (et si besoin un complément de séchage) avant son expédition aux usiniers.

Les industriels du cacao sont soit des beurriers (transformateurs de fèves en produits semi-élaborés : masse, beurre et poudre), soit des chocolatiers. Les industriels sont installés dans les pays consommateurs, mais aussi et de plus en plus, dans les pays producteurs.

Les changements en cours dans la filière concernent la poursuite du désengagement des Etats du contrôle de la commercialisation (en Afrique surtout), les tentatives d'organisation des producteurs, l'implication des industriels vers l'amont de la filière, la poursuite des regroupements industriels chez les beurriers et les chocolatiers et enfin la spécialisation de petites firmes sur des marchés de niche.

● La recherche

● Les questions posées à la recherche

Les principaux enjeux actuels concernent les points suivants :

- > assurer la sédentarisation de la cacaoculture, afin que l'accroissement de la production mondiale ne soit plus obtenue principalement par la création de nouveaux vergers sur défriche de forêt tropicale, mais par l'amélioration de la productivité et la réhabilitation des plantations existantes ;
- > mettre au point une méthode de lutte intégrée contre la *pourriture brune des cabosses*, provoquée par plusieurs espèces de *Phytophthora*, que l'on trouve dans toutes les zones de production. Au Cameroun, les pertes dues au *P. megakarya* dépassent la moitié de la production du pays et l'épidémie, en se propageant vers l'Afrique de l'Ouest, menace la Côte d'Ivoire ;

- > répondre à la demande des chocolatiers en assurant le renouveau de la production de cacao fins et aromatiques, qui sont souvent remplacés par des variétés plus robustes et plus productives, mais moins riches en arôme ;
- > connaître l'influence des variétés, du terroir, des pratiques culturelles et de la première transformation sur la formation des arômes. Cela permettra de répondre à la demande de cacao de différentes qualités liée à la segmentation du marché, de savoir caractériser des chocolats pure origine et d'améliorer la régularité de la qualité.

● Les organismes de recherche

La recherche cacaoyère est le fait de structures nationales dans les pays producteurs et de quelques organismes internationaux. Dans les pays producteurs, les recherches sont surtout orientées vers l'agronomie, l'amélioration variétale et la recherche-développement. Ces organismes de recherche souffrent actuellement de la libéralisation et du désengagement des Etats qui diminuent leur participation financière.

Les principales institutions de recherche

Le principal organisme international de recherche cacaoyère est le CIRAD (France), qui développe une approche filière multidisciplinaire.

Aux Etats-Unis, l'ACRI vient en appui aux besoins de l'industrie en finançant des universités et des actions dans les pays producteurs (biotechnologies).

Au Royaume Uni, le CABI s'occupe essentiellement de recherches en phytopathologie et l'Université de Reading se charge d'études en physiologie et d'échange de matériel végétal.

Au niveau international, l'IPGRI conduit un projet sur les ressources génétiques.

LE CAFÉIER

Coffea canephora et *Coffea arabica*

Anglais : coffee tree

Espagnol : cafe

Portugais : café

Famille des Rubiaceae

● Les utilisations des caféiers

Parmi les quelques soixante-dix espèces de caféiers recensées, seules deux espèces ont un intérêt commercial : *Coffea canephora*, variété robusta, et *Coffea arabica*. Ces deux espèces sont cultivées pour leurs graines qui, après torréfaction, servent à préparer une boisson. Celle-ci possède des propriétés stimulantes dues à la présence d'un alcaloïde : la caféine.

Si on excepte la préparation d'extraits pour la pâtisserie et la confiserie, le café sert exclusivement à la confection de boissons chaudes ou froides. La caféine, sous-produit de l'industrie de décaféination, est utilisée en pharmacie.

Les sous-produits résultant du traitement post-récolte sont généralement utilisés comme compost après fermentation : pulpes issues du traitement par voie humide ou coques provenant de la voie sèche.

Avec une production moyenne annuelle de six millions de tonnes, le café procure l'essentiel des revenus monétaires de dix à douze millions de petits agriculteurs et constitue une importante source de devises pour de nombreux pays producteurs.

● La plante et son environnement

● La plante

Tous les caféiers sont originaires d'Afrique. Ils appartiennent au genre *Coffea* de la famille des Rubiacées, qui compte plus de 6 000 espèces regroupées dans 500 genres différents. Les deux espèces cultivées de café, bien qu'originaires de la zone intertropicale humide, ont des caractéristiques très différentes et des aires de culture bien individualisées. Dans leur habitat naturel, les caféiers se rencontrent dans des zones ombragées à semi-ombragées.

Tableau 8. Caractéristiques comparées des deux espèces de caféiers cultivées

	<i>Coffea canephora</i>	<i>Coffea arabica</i>
Origine	Zones équatoriales chaudes et humides de basse altitude du bassin du Congo et du Golfe de Guinée	Hauts plateaux éthiopiens à saison sèche marquée et température fraîche
Caractéristiques	diploïde ($2n = 22$) allogame (ou autostérile) caféine 2,0 % à 3,5 % boisson à arôme faible mais corsée	allotétraploïde ($4n = 2x = 44$) autogame (ou autofertile) caféine 1,1 % à 1,6 % boisson à arôme marqué mais faiblement corsée
Exigences climatiques	<i>Températures</i> : entre 24°C et 26°C (min 10°C - max 35°C) <i>Pluviosité</i> : 1 500 mm à 3 000 mm par an saison sèche de 2 à 3 mois	<i>Températures</i> : entre 20°C et 25°C (min 5°C - max 30°C) <i>Pluviosité</i> : 1 300 mm à 1 800 mm par an saison sèche de 2 à 4 mois

● Les caractéristiques morphologiques

Le caféier est un arbuste buissonnant qui peut atteindre 3 à 4 mètres de hauteur. Le système aérien est constitué d'un axe vertical ou axe orthotrope à croissance continue et sur lequel sont insérés les rameaux primaires ou rameaux plagiotropes opposés deux à deux. À l'aisselle de chaque paire de feuilles de l'axe orthotrope (ou nœud), un seul et unique bourgeon va se transformer en rameau primaire tandis qu'une multitude de bourgeons dormants pourront évoluer en tiges orthotropes lorsque les conditions le permettront. La lumière est un facteur favorable à l'émission de ces tiges orthotropes supplémentaires.

De même, à chaque paire de feuilles (ou nœud) d'un rameau primaire existe un grand nombre de bourgeons latents dont certains vont évoluer vers des fleurs et des fruits.

Les autres peuvent donner spontanément ou non des rameaux fructifères secondaires qui eux-mêmes porteront des rameaux fructifères tertiaires. Un ou plusieurs rameaux secondaires ou tertiaires peuvent partir d'un même nœud.

La fructification, dite centrifuge, se fait exclusivement sur le bois d'un an des ramifications plagiotropes. De ce fait, la zone fructifère s'élève par rapport au sol et s'éloigne progressivement du tronc, ce qui entraîne une moins bonne alimentation hydrique et minérale des fruits. Bien que la croissance des plagiotropes soit continue, il arrive assez fréquemment que les primaires basses meurent, le tronc se dégarnissant peu à peu. L'architecture de l'arbuste se dégrade. Ces caractéristiques morphologiques ont une grande importance :

- > pour la propagation du caféier, on se sert de sa capacité à émettre un grand nombre de tiges orthotropes pour la multiplication végétative par bouturage ;
- > pour la conduite du caféier pour la production, différents systèmes de taille sont possibles.

● **Les ressources génétiques et l'amélioration variétale**

***Coffea arabica* et les hybrides interspécifiques tétraploïdes**

Les caféiers sylvestres de l'espèce ont été récoltés au cours de plusieurs missions de prospection en Ethiopie et au Kenya. Au total, 714 génotypes différents de *Coffea arabica* ont été collectés. À partir de ces prospections ont été constituées les collections de caféiers arabica, la plus grande étant en Ethiopie. D'autres collections importantes se trouvent au Kenya, en Tanzanie, au Cameroun, en Côte d'Ivoire, en Inde, au Costa Rica, au Brésil et en Colombie.

Outre ces prospections majeures, deux autres missions ont permis de collecter des génotypes qui ont été à l'origine des variétés Dalle, Dilla et Gimma, Rume Sudan et Barbuk Sudan. Au Timor et en Nouvelle-Calédonie, on a trouvé des hybrides interspécifiques naturels (*C. arabica* x *C. canephora*) fertiles. Ces hybrides présentent une bonne résistance à la rouille orangée et donc une potentialité utilisable en amélioration génétique pour lutter contre cette maladie.

Les plantations d'arabica ont été faites à partir de quelques plants provenant du Yémen. Il en résulte, du fait de l'autogamie, une grande homogénéité dans les populations d'arabica cultivé. Cependant, quelques variétés comme Bourbon, Typica, Magarogype, Blue Mountain, Mbirizi et Kent ont été développées. Au sein de ces variétés sont apparus des mutants comme la variété naine Caturra (mutant de Bourbon). Quelques hybrides comme Mundo Novo (Typica x Bourbon) ou Catuai (Mundo Novo x Caturra) ont été créés. L'analyse par marqueurs moléculaires (RAPD) de la structure génétique des populations cultivées ne montre pas de différence à l'intérieur des groupes Typica et Bourbon.

Avec l'apparition de la rouille orangée, des croisements entre les variétés cultivées et l'hybride de Timor (HdT) ont donné toute une série de lignées résistantes à la rouille : Catimor (Caturra x HdT), Sarchimor (Sarchi x HdT), Variété Columbia, etc. Les variétés Icatu du Brésil ont été faites à partir d'un croisement entre un arabica et un robusta dont le nombre de chromosomes a été doublé à la colchicine. La variété Ruiru 11 du Kenya est un Catimor ayant en plus des gènes de résistance à l'anthracnose des baies.

Au Brésil et au Costa Rica, des hybrides F1 entre variétés cultivées et caféiers sauvages éthiopiens sont en cours d'évaluation. Les parents éthiopiens ont été choisis en fonction de leur résistance aux maladies (rouille et anthracnose) et au parasitisme tellurique (nématodes) et de leurs qualités organoleptiques.

***Coffea canephora* et les autres espèces diploïdes**

De nombreuses prospections entre 1960 et 1989 ont permis de rassembler tout le matériel diploïde du genre *Coffea* dont *C. canephora* qui regroupe les variétés Robusta, Niaouli, Kouilou. On citera en particulier les prospections en Côte d'Ivoire, en Afrique centrale, au Cameroun, au Congo et en Guinée pour les *Coffea canephora*. Les autres prospections concernent les autres espèces du genre *Coffea* (*C. eugenioides*, *C. consgensis*, *C. liberica*, *C. humilis*, *C. stenophylla*, etc.).

La plus importante collection de caféiers diploïdes se trouve en Côte d'Ivoire sur la station de recherche du CNRA à Divo. Des collections sont installées dans la plupart des pays producteurs. Chaque pays où a eu lieu une prospection en possède une contenant, au minimum, la totalité des génotypes récoltés localement.

Les premiers programmes de sélection chez le robusta ont été basés soit sur une sélection massale d'individus performants multipliés ensuite par voie végétative (clones), soit par sélection généalogique d'hybrides multipliés par voie générative dans des champs semenciers bi ou polyclonaux.

Par électrophorèse enzymatique, il a été démontré que l'espèce *C. canephora* se subdivise en deux groupes distincts : le groupe des *guinéens* et le groupe des *congolais*. La plupart des variétés cultivées sont en fait des hybrides entre ces deux groupes. Ce résultat est à la base d'un programme de sélection récurrente réciproque. Les hybrides obtenus entre ces deux groupes ont un potentiel de production plus élevé que les clones et hybrides sélectionnés diffusés aujourd'hui.

● **La multiplication**

La multiplication par voie générative

Chez l'arabica, espèce autogame, la plupart des variétés commerciales sont fixées. Ceci signifie qu'il est possible d'utiliser les graines de ces variétés comme semences. Par contre, les hybrides F1 ainsi que de nombreuses lignées de Catimor ou de variétés similaires ne peuvent être reproduits à l'identique que dans des champs semenciers où les parents sont parfaitement connus. Du fait de l'autogamie, ils ne peuvent l'être que par fécondation artificielle ou dans des champs semenciers dont l'un des géniteurs est mâle stérile.

Chez le robusta, espèce allogame, il n'est pas possible d'obtenir des variétés fixées ou stables. Tous les hybrides sélectionnés et diffusés chez les agriculteurs doivent obligatoirement provenir de champs semenciers connus.

En conséquence, le vulgarisateur devra veiller à ne faire semer que des semences d'origine parfaitement connue, aussi bien pour les hybrides d'arabica et les Catimors que pour le robusta. Dans le cas du Catimor, le manque de rigueur peut se traduire par la diffusion de matériel végétal ayant perdu ses caractères de résistance à la rouille. Seuls les centres de recherche ou les centres officiels de production de matériel végétal sont habilités à certifier la stabilité d'une variété.

Le semis se fait en germe ou directement dans les sachets de polyéthylène.

La multiplication par voie végétative

Le clonage permet de reproduire à l'identique un individu donné. Dans ce cas, on ne multiplie que les individus les plus performants d'une population d'hybrides (diffusion de matériel végétal clonal chez les agriculteurs) ou les géniteurs des champs semenciers (diffusion de semences).

Pour le robusta, l'allogamie oblige à multiplier et à diffuser au minimum deux individus différents pour être certain d'avoir des fruits. Dans la pratique, on recommande de multiplier simultanément cinq à sept clones pour avoir une bonne synchronisation des floraisons au champ.

Les différentes techniques de propagation végétative sont :

- > *le greffage* : il n'est utilisé que dans des circonstances particulières ; exceptionnellement pour la sauvegarde de matériel précieux ou fragile ou en routine dans la protection contre les nématodes. Dans ce dernier cas, on greffe l'arabica sur le robusta (greffe sur hypocotyle) ;
- > *le bouturage horticole* utilisé principalement pour le robusta où on utilise la capacité du caféier à produire un grand nombre de rejets orthotropes. Pour ce faire, on établit un parc à bois composé des clones à multiplier. Seul le bois orthotrope est prélevé. Les boutures sont placées dans des propagateurs (centres de multiplication) ou bien directement dans des sachets en polyéthylène, sous un tunnel constitué d'un film de plastique transparent (pépinières individuelles) pour l'enracinement. Il est important de maintenir une atmosphère humide (> 90 %) durant une période de deux à trois mois. Les boutures ne doivent pas recevoir plus de 50 % de la lumière naturelle ;
- > *le micro-bouturage*, une technique relativement récente qui nécessite l'installation d'un laboratoire spécialisé et demande une bonne technicité. Le micro-bouturage se fait *in vitro*. Un noeud (ou explant) est prélevé, désinfecté et placé sur un milieu nutritif gélosé. Après douze semaines, les rejets qui se sont formés sont à leur tour repiqués sur de la gélose. L'enracinement est induit chimiquement deux jours avant le transfert en pépinière d'acclimatation ;
- > *l'embryogénèse somatique* qui permet un taux de multiplication très élevé mais demande des installations spéciales et des techniciens bien formés. Le principe est simple, basé sur la propriété d'une cellule différenciée de repasser à l'état indifférencié. Dans la pratique, on prélève une feuille qu'on place sur un milieu nutritif adapté. Un cal se forme et les cellules se transforment en cellules embryonnaires qui, elles-mêmes, vont donner des embryons. Ces derniers vont germer et seront ensuite repiqués dans des serres d'acclimatation. Cette technique, mise au point par le CIRA pour la production commerciale, est déjà utilisée en Ouganda. Elle devra être utilisée pour la propagation des hybrides F1 d'arabica, au moins tant qu'il ne sera pas possible d'obtenir, en routine, des géniteurs mâles stériles.

● L'écologie des caféiers

● La pluviométrie

La pluviométrie est un facteur limitant majeur pour la caféiculture. La répartition mensuelle des pluies est plus importante que la hauteur totale des précipitations. En particulier, il est nécessaire d'avoir des pluies régulières au plus tard trois à quatre

semaines après la floraison pour éviter l'avortement des fruits. En zone équatoriale stricte (2° Nord ou Sud), le régime pluviométrique entraîne deux périodes de floraison et une récolte étalée sur sept à huit mois.

L'humidité de l'air joue un rôle important pour les deux espèces, *C. canephora* étant plus exigeant que *C. arabica*. Dans certaines régions très sèches, comme le Yémen, l'humidité nocturne apporte des quantités d'eau non négligeables (précipitations occultes) permettant aux caféiers de se développer.

● **La température**

La température est également un facteur limitant important. En ce qui concerne l'*arabica*, les effets de l'altitude compense la latitude : il est possible de cultiver l'*arabica* à des altitudes faibles dans les régions proches des tropiques. Dans les zones gélives, un ombrage des caféiers est indispensable.

● **Le vent**

Le vent agit de façon mécanique en provoquant le bris des troncs et des branches et la chute des feuilles lorsque sa vitesse atteint 70 à 80 km/heure. Les vents secs et chauds entraînent un flétrissement des feuilles et des jeunes rameaux encore verts.

● **L'éclaircissement**

L'éclaircissement joue un rôle important dans la fructification. Dans son habitat naturel, le caféier se rencontre dans des zones ombragées et porte peu de fruits. Considérée comme plante héliophobe, le caféier a longtemps été cultivé sous ombrage. En plein soleil, il peut avoir une production très élevée mais ce mode de culture nécessite d'utiliser des intrants (engrais et pesticides) et de pratiquer une taille régulière.

Aujourd'hui les deux modes de culture sont couramment pratiqués : le choix dépend du niveau souhaité d'intensification, de la technicité des agriculteurs et également des contraintes de coût des intrants et de protection de l'environnement. Les systèmes agroforestiers à base de café se développent dans les pays où la main-d'œuvre est encore peu onéreuse. Par contre au Brésil, à Hawaï, en Australie, la caféiculture se pratique en plein soleil pour pouvoir mécaniser la récolte.

● **Les sols**

Les sols à pH compris entre 4,2 et 6,5 conviennent généralement bien au caféier qui n'a pas d'exigences particulières. La texture joue un rôle peu important dans la mesure où les déficits hydriques ne sont pas trop importants.

● **La culture**

● **Les principaux systèmes de culture**

● **Les systèmes intensifs et extensifs**

Plus de 90 % des caféières aux surfaces comprises entre 0,5 et 5 ha appartiennent à de petits planteurs dont les systèmes d'exploitation sont basés sur les cultures vivrières. Le café leur procure l'essentiel des revenus monétaires. Les grandes exploitations uniquement caféières, situées surtout au Brésil, au Kenya, en Tanzanie et en Colombie peuvent atteindre plusieurs centaines d'hectares.

Le niveau d'intensification de la culture dépend essentiellement de la technicité des agriculteurs, de leur capacité d'investissement surtout en travail et du prix du café *bord champ*. On considère généralement qu'en dessous de 500 kg/ha, on se trouve dans des systèmes extensifs ou semi-extensifs.

● **Les associations**

Les associations végétales présentent un intérêt économique certain pour les petits producteurs en limitant l'enherbement de la caféière, en procurant des revenus complémentaires ou en réduisant les coûts en intrants.

Les associations permanentes se rencontrent dans les systèmes d'agroforesterie qu'on rencontre dans la grande majorité des pays producteurs où les caféiers sont cultivés sous ombrage. Les espèces végétales associées sont des légumineuses arbustives ou arborées (*Leuceana*, *Albizia*, *Erythrina*, etc.), ou d'autres essences, naturelles ou plantées, fournissant du bois d'œuvre (Acajou, *Terminalia*, etc.). Il existe aussi des associations avec les arbres fruitiers (Indonésie, Vietnam) et le bananier (Ouganda, Tanzanie).

L'ombrage a un effet modérateur sur les variations journalières de température et d'humidité. Dans les zones où le risque de gel existe, l'ombrage protège les caféiers. L'ombrage joue également un rôle dans l'induction florale et la fructification : les caféiers sous ombrage produisent moins.

Les associations temporaires sont pratiquées durant les deux ou trois premières années de la plantation et au moment du recépage. Le plus fréquemment, les caféiculteurs associent des cultures vivrières : maïs, riz, igname, taro, arachide, chou, etc. L'association avec des légumineuses de couverture (*Flemingia*, crotalaire, pois d'Angole, etc.) est recommandée si aucune culture n'est mise en place. Les plantes de couverture disparaissent spontanément lorsque les caféiers couvrent le sol.

● **Les itinéraires techniques et l'élaboration du rendement**

● **La mise en place de la culture**

La réussite d'une plantation dépend, en premier lieu, de la qualité des plants qui sont mis en place. Il convient de démarrer la pépinière au minimum six à sept mois avant la date prévue pour la mise au champ des jeunes plants. Pour l'arabica qui mûrit plus tôt que le robusta, cela ne pose en général pas de grandes difficultés si on prend soin d'effectuer les semis en octobre et novembre dans l'hémisphère nord. Pour le robusta, la maturité des fruits étant plus tardive (janvier et février), il est souvent nécessaire de forcer les plants pour les mettre en terre la même année que le semis. Le forçage se fait en maintenant les jeunes plantules dans une atmosphère très confinée, puis, à partir du moment où les plants possèdent trois à quatre paires de feuilles, par une pulvérisation toutes les deux semaines de sulfate d'ammoniaque ou de phosphate d'ammoniaque (5 g/litre).

Les jeunes plants sont mis en terre au début de la saison des pluies afin qu'ils bénéficient du maximum d'apports d'eau.

Les densités de plantation

Elles dépendent de la vigueur des caféiers mais également de la fertilité des sols :

- *C. canephora* : 1 300 pieds/ha (3,00 x 2,50 m) à 2 000 pieds/ha (2,50 x 2,00 m) ;
- *C. arabica* : 1 600 pieds/ha (2,50 x 2,50 m) à 2 500 pieds/ha (2,00 x 2,00 m) pour les arabicas à port haut et 5 000 pieds/ha (2,00 x 1,00 m) à 10 000 pieds/ha (1,00 x 1,00 m) pour les arabicas à port bas (Cadereau, Casimirs).

La densité dépend de la conduite du caféier et du nombre de tiges orthotropes par pied. Sur les sols riches, il y a intérêt à diminuer les densités de plantation car les caféiers y sont plus vigoureux alors que sur les sols pauvres il vaut mieux choisir des densités fortes.

Une trouaison préalable de 0,40 x 0,40 x 0,40 m est fortement recommandée et permet d'enrichir le sol en apportant du fumier ou une fumure de fond (P, Ca, Mg).

● L'entretien

Les caféières installées sur des jachères jeunes ou après des cultures annuelles sont rapidement envahies par les adventices. En effet, les cultures vivrières exigent le plein soleil et favorisent donc la pousse de mauvaises herbes dont le système racinaire entre en compétition hydrique et minérale avec celui du caféier. Les jeunes plants de caféiers doivent donc être détourés soigneusement et les interlignes fauchés très ras. Des résidus végétaux sont placés autour des plants afin de couvrir le sol et limiter l'évaporation (mulch).

Il est déconseillé d'installer des caféiers sur des sols couverts d'adventices traçantes et envahissantes comme *Imperata cylindrica* et *Chromolena odorata* car il est très difficile de les maîtriser manuellement. Le désherbage chimique est efficace mais coûteux pour les petits producteurs. Les herbicides les plus couramment utilisés sont le glyphosate et le paraquat.

Les caféières installées sous ombrage naturel ou implanté sont moins sujettes à la concurrence de la flore adventice qui est alors surtout composée de dicotylédones. L'envahissement d'une jeune caféière par les mauvaises herbes se traduit par un jaunissement des feuilles, la disparition des primaires basses et une mortalité des jeunes caféiers en saison sèche. Adultes, les caféiers bien entretenus couvrent bien le sol, ce qui limite la croissance des adventices.

● La taille

Il existe de nombreux systèmes de taille, tous découlant des caractéristiques morphologiques du caféier.

Les nombreux axes orthotropes

Plusieurs systèmes de taille utilisent les capacités du caféier d'émettre de nombreux axes orthotropes :

- > naturellement, le caféier émet une seule tige orthotrope (ou monocaulie). En arquant un jeune plant, on favorise l'émission de nouvelles tiges orthotropes à partir de la base. Il est alors possible de conduire la caféier en multicaulie, le nombre de tiges à conserver étant alors dépendant de la densité. En règle générale, on considère que les robusta donne les meilleures productions avec 5 000 à 7 000 tiges par hectare. Pour les arabica, les productions élevées sont obtenues avec 7 000 à 10 000 tiges par hectare. Une autre technique consiste à supprimer le bourgeon terminal (pinçage) de la tige et à laisser pousser deux nouvelles tiges au niveau du dernier nœud. Le pinçage peut être répété sur les deux nouvelles tiges orthotropes pour obtenir quatre tiges au total (taille en candélabre) ;
- > la taille périodique de régénération ou recépage utilise également la propriété du caféier à émettre de nombreux rejets orthotropes. Lorsqu'on coupe la ou les tiges d'un caféier, les bourgeons dormants sont activés et se développent. Cette taille est destinée à restaurer l'architecture de l'arbre après quelques années de production ;
- > l'émission de rejets, en particulier lorsque les nœuds sont exposés à la lumière, oblige à pratiquer une taille d'entretien régulière (trois à quatre fois par an) ou taille d'ébourgeonnage, faute de quoi le caféier va avoir rapidement un aspect buissonnant préjudiciable à une bonne productivité.

Les rameaux secondaires et tertiaires

Ces tailles exploitent la capacité à émettre des rameaux secondaires et tertiaires :

- > le pinçage du bourgeon terminal de la tige orthotrope supprime la dominance apicale et favorise la croissance des rameaux plagiotropes. Ce système de taille, appelé conduite en écimage s'oppose à la conduite en croissance libre. Sur les caféiers à forte ramification, les rameaux secondaires peuvent apparaître sans avoir à supprimer les bourgeons terminaux des rameaux primaires ;
- > dans certains systèmes de taille, comme la taille kenyane, on favorise l'émission de rameaux secondaires et tertiaires en coupant l'extrémité des primaires. Ceci se pratique surtout sur arabica mais demande beaucoup de main d'œuvre et de savoir-faire.

Il est possible de conduire le caféier en monocaulie ou en multicaulie en adoptant indifféremment la croissance libre ou l'écimage. Dans tous les cas, il est indispensable de supprimer les rejets orthotropes surnuméraires. Enfin, il faut procéder à une taille de régénération de façon régulière. En croissance libre, on régénère toutes les cinq ou six récoltes alors qu'en conduite avec écimage, la régénération du caféier intervient après douze à quinze récoltes. Le choix du système de conduite dépend essentiellement du système de culture et de production de l'agriculteur.

Le recépage est une technique comparable à l'arrachage et la replantation pour réhabiliter de vieilles plantations négligées. Il ne doit être recommandé que si les caféiers sont en bon état végétatif.

La taille et l'entretien des plantations sont les deux techniques de base que le producteur doit appliquer s'il veut obtenir un minimum de 500 kg de café marchand par hectare.

● La fumure

De nombreux auteurs ont calculé les quantités d'éléments minéraux exportés par une tonne de café. Les valeurs trouvées varient en fonction de l'espèce et des variétés au sein d'une même espèce, de l'âge des caféiers et des conditions de culture.

L'azote et le potassium sont les éléments dominants dans la nutrition du caféier en production. Sur des sols riches, on peut se contenter d'une fertilisation azotée au moins pendant les cinq premières années. Ensuite, il est préférable d'apporter une formule NK ou une formule NKMg.

L'apport de phosphore, élément coûteux, est conseillé uniquement sur les sols déficients en P_2O_5 ou sur les sols basaltiques de type andosol, qui fixent le phosphore. Dans ce cas, il est préférable de fractionner les apports.

Sur les sols désaturés, on a montré que l'azote seul peut avoir un effet dépressif. On conseille donc d'apporter un engrais complet NPK ou de réaliser un amendement calco-magnésien au préalable. La présence de fougères en végétation naturelle suggère que le sol est désaturé et acide.

Il existe autant de recommandations pour la nutrition minérale que de pays producteurs. Seuls les besoins extrêmes sont donnés ci-dessous, la formule optimale devant être établie après des analyses de sol et de feuilles.

Tableau 9. Exportations et fertilisation minérale du caféier

Éléments	Exportations (kg/1 000 kg café)	Recommandation de fertilisation	
		Arabica	Robusta
Azote (N)	15 à 30 kg	100 à 150 kg	60 à 100 kg
Phosphore(P_2O_5)	3,6 à 10 kg	30 à 50 kg	30 à 50 kg
Potassium (K_2O)	24 à 44 kg	60 à 90 kg	40 à 60 kg
Calcium (CaO)	2 à 15 kg	selon analyses de sol	selon analyses de sol
Magnésium (MgO)	2 à 6 kg	selon analyses de sol	selon analyses de sol

● La défense des cultures

Les deux principaux fléaux

Ce sont le scolyte des baies, *Hypothenemus hampei* et la rouille orangée due à *Hemileia vastatrix*. Ils affectent la caféiculture du monde entier.

Le scolyte des fruits provoque jusqu'à 20 % de chute des fruits et est responsable de la dégradation de la qualité des fèves en les perforant. Ces perforations peuvent être des portes d'entrée pour des infestations secondaires de moisissures sécrétant des mycotoxines. Longtemps préconisée, la lutte chimique est maintenant complétée par la lutte biologique avec des parasitoïdes (*Prorops*, *Phymasticus*, *Cephalomnomia*), des champignons entomopathogènes (*Beauveria sp*), le piégeage et la récolte sanitaire. La lutte génétique par l'introduction de gènes de *Bacillus thuringiensis* pourrait contribuer

à étendre l'arsenal des moyens de lutte dans le cadre d'une gestion intégrée des populations de scolytes.

La rouille orangée est une maladie qui ravage les plantations d'arabica en provoquant la défoliation des caféiers et leur disparition lorsque les attaques sont très fortes et continues. Les moyens de lutte sont chimiques et génétiques. De nouvelles variétés ont été créées en croisant les arabicas avec l'Hybride de Timor (Casimirs, Icatu, Sarchimors, etc). Des travaux récents ont montré qu'une bonne gestion agronomique des caféières (ombrage, fertilisation) peut réduire l'incidence de la maladie.

Les autres maladies importantes

Lanthracnose des baies, causée par *Colletotrichum kahawae* est responsable de pertes sur arabica pouvant atteindre 80 % de la récolte dans les cas les plus graves. Cette maladie sévit en Afrique de l'Est et au Cameroun. Hormis la variété résistante kenyane Ruiru 11, le seul moyen de lutte est le contrôle chimique.

La trachéomyose due à *Fusarium xyloïdes* a dévasté les plantations en Afrique de l'Ouest. Après avoir pratiquement disparu, elle est réapparue récemment en Afrique de l'Est.

Citons enfin la cercosporiose qui apparaît lorsqu'il y a une mauvaise nutrition azotée et trop de lumière, la maladie de la tache américaine (*Mycena versicolor*), et la fumagine qui est en fait une maladie secondaire liée à la présence de cochenilles.

Les autres ravageurs importants

La punaise bigarrée (*Antestiopsis orbitalis*) cause d'importants dégâts en attaquant les fruits de l'arabica en Afrique de l'Est et au Cameroun. Les nématodes (genres *Pratylenchus* et *Meloidogyne*) sont responsables de la mort de plantations d'arabica en Amérique centrale. La lutte chimique est peu efficace et polluante. Grâce au greffage hypocotyle sur des porte-greffes robusta, il est possible d'installer des arabicas dans les zones infestées. Les cochenilles attaquent les parties aériennes ou les racines. Elles sont souvent associées aux fourmis et sont responsables de l'apparition de fumagine. Les foreurs des troncs (*Xyleborus* sp.), le scolyte des branchettes et les termites, sont des ravageurs secondaires qui peuvent occasionnellement faire des dégâts importants.

Pour être efficace et la moins polluante possible, la lutte chimique doit obligatoirement respecter les doses et dates d'application préconisées par les fabricants et les réglementations nationales. Le café biologique attirant de plus en plus de consommateurs, le contrôle biologique des maladies et ravageurs du caféier est un secteur de recherche en plein développement.

● Les temps de travaux

Ils sont extrêmement variables d'un pays à l'autre. La récolte représente près de la moitié des journées de travail nécessaires à la conduite d'une caféière, que ce soit en système intensif ou extensif. En règle générale, la production d'une tonne de café par hectare occupe à plein temps un travailleur sur la base de 250 jours de travail par an (moyenne : 0,9 à 1,2 hommes/ha/an).

Compte tenu de la charge de travail que représentent l'installation et la conduite d'une caféière, il est conseillé d'ajuster la surface à la disponibilité en main d'œuvre de l'exploitation. Il est admis qu'un petit planteur ne peut planter plus de 0,5 ha par an

et qu'il ne peut entretenir correctement qu'entre un et deux hectares de caféiers sans main d'œuvre salariée permanente.

Tableau 10. Temps de travaux nécessaires à l'entretien d'une caféière

Travaux (conduite)	Jours/ha ou kg/jour	Travaux (installation)	Jours/ha
Désherbage/Nettoyage	45 à 60 jours/ha	Pépière	60 à 80
Taille/Egourmandage	16 à 24 jours/ha	Défrichage	120 à 200
Traitement phytosanitaire	2 à 3 jours/passage	Piquetage	15 à 25
Épandage d'engrais	2 à 4 jours/ha	Trouaison/Plantation*	80 à 150
Récolte	50 à 80 kg cerises/jour	Entretien	40 à 60

*Selon la densité de plantation, y compris le transport des plants.

● La récolte et les opérations post-récolte

Pour obtenir la meilleure qualité de café possible, il est impératif de cueillir les cerises à bonne maturité, c'est-à-dire lorsqu'elles sont rouges. La pratique du *strip-picking*, usuelle pour le robusta et les arabicas traités par voie sèche, consiste à récolter l'ensemble des cerises d'un caféier en un seul passage, sans tenir compte de l'état de maturité. Pour les arabicas traités par voie humide, il est nécessaire de faire trois à cinq passages de récolte pour ne prélever que les cerises rouges, les seules qui puissent être déulpées.

● Le traitement post-récolte par voie sèche

C'est la technique la plus simple. Elle est utilisée pour les robustas et les arabicas dits «voie sèche», comme ceux d'Éthiopie et du Brésil. Après la cueillette les cerises sont étalées au soleil sur des aires de séchage ou des claies. Le café doit être disposé en couches minces de 4 à 5 cm d'épaisseur pour sécher correctement sans risque de fermenter. Au cours du séchage, les cerises sont remuées au moins une fois par jour. Le temps de séchage est compris entre trois et quatre semaines. Pour éviter une reprise d'humidité en cours de séchage, les cerises sont recouvertes d'une bâche plastique qui les protège de la pluie ou de l'humidité nocturne.

Dans de nombreux pays¹, le planteur vend son café en coque sèche, la transformation en café grain étant faite par les commerçants ou les exportateurs. En Côte d'Ivoire et au Brésil, les planteurs décortiquent eux-mêmes le café et le vendent en grain après avoir retiré toutes les matières étrangères, les fèves noires et les fèves abîmées par les insectes ou lors de l'usinage (triage).

● Le traitement par voie humide

Cette méthode consiste à retirer mécaniquement la pulpe qui entoure les fèves à l'aide d'un déulpneur. L'opération peut se faire au niveau des planteurs ou dans des centres de traitement capables de travailler plusieurs centaines de kilos à plusieurs centaines de tonnes de cerises par jour.

¹ Vietnam, Indonésie, Ouganda, Cameroun, Laos, etc.

À la ferme, on trouve deux types de dépulpeurs : les dépulpeurs à tambour et les dépulpeurs à un ou deux disques. Ces machines sont actionnées manuellement ou à l'aide de petits moteurs électriques ou thermiques.

Après le dépulpage, le mucilage qui reste attaché à l'endocarpe ou parche est retiré par fermentation sous eau ou à sec pendant douze à trente six heures selon la température. La dernière opération avant le séchage sur claie est le lavage du café parche. La démucilagination peut également être faite mécaniquement après le dépulpage.

Le traitement par voie humide est une technique polluante à cause des rejets riches en sucres et en cellulose. Les méthodes classiques consomment beaucoup d'eau. Des appareils capables de travailler sans eau ont été mis au point en Amérique latine. Pour limiter la pollution, il faut éviter de disperser les pulpes (en les compostant) et de rejeter les eaux de lavage dans les cours d'eau.

Généralement la commercialisation primaire du café se fait en café parche sec, le départage étant fait dans des unités de conditionnement.

● La qualité du café

Schématiquement, la qualité du café se définit suivant deux types de critères :

- > *une qualité loyale et marchande* qui signifie que le produit vendu est conforme à la description qui en est faite. À l'intérieur de cette définition, on classe les cafés en fonction d'un certain nombre de catégories correspondant à des taux maximaux d'imperfections pour chacune d'entre elles. Les cafés les plus cotés ne contiennent pas de fèves noires, fermentées, puantes, blanches, perforées, etc., ni de corps étrangers (bois, pierres, résidus de la transformation) ;
- > *une qualité organoleptique* qui caractérise le café en fonction de son arôme, son acidité, son amertume, son astringence, son corps, mais aussi les goûts indésirables (fermenté, puant, pomme de terre, etc.). Certains goûts, comme le goût rioté ou des goûts fruités peuvent être appréciés ou non selon la clientèle. Les facteurs de variations, outre le traitement post-récolte, sont nombreux : la variété, les pratiques culturelles, l'altitude, le sol, l'ombrage interviennent dans la valeur d'un café.

● La production actuelle et les perspectives

Tableau 11. Production moyenne de café dans le monde sur 14 ans (1986-1987/1999-2000)

Continents/Pays	Robusta		Arabica	
	Volume (milliers de sacs 60 kg)	Tendance	Volume (milliers de sacs 60 kg)	Tendance
Afrique	10 445	Baisse	7 410	Baisse +
Caraiïbes	15	Baisse	825	==
Amérique centrale	50	Hausse	12 364	Hausse
Mexique + Hawaï	152	==	5 012	==
Amérique du sud	5 336	Hausse	37 956	Hausse
Asie	13 542	Hausse++	3 264	Hausse

On observe une baisse de la production en Afrique et dans les Caraïbes. En revanche, l'Asie connaît des hausses très fortes, en particulier au Vietnam où la production de robusta est passée de moins de 35 000 t en 1975 à plus de 450 000 t en 1999. Une même croissance devrait être observée sur l'arabica dans les prochaines années.

Plus de 80 % de la production mondiale est traitée par la grande et moyenne industrie de la torréfaction. On assiste cependant au développement d'un nouveau marché, celui des cafés de pure origine, orienté vers la commercialisation d'un produit de très bonne qualité qui se démarque des cafés standards des grandes marques. Ces cafés sont proposés soit par la moyenne et petite torréfaction industrielle, soit par des artisans torréfacteurs. Le marché des cafés fins permet aux producteurs d'être mieux rémunérés. Mais ces cafés demandent en contre partie plus de soins à la récolte et lors du traitement post-récolte.

La consommation mondiale de café augmente de 1 à 2 % par an, même si elle régresse dans certains pays. En Europe et aux Etats-Unis, les observations montrent que la consommation par tête tend à diminuer ou, au mieux, reste stable ; l'accroissement de la consommation est lié à la démographie. Dans les pays de l'Est ou asiatiques, en revanche, la consommation par habitant augmente.

LE GUARANA

Paullinia cupana

Anglais, espagnol et portugais : guarana

Famille des Sapindaceae

● La plante et ses utilisations

P. cupana est originaire du Venezuela, à la frontière du Brésil et de la Colombie. Il est principalement cultivé en Amazonie brésilienne. Les graines sont utilisées pour leur effet tonifiant, sous forme de poudre diluée dans de l'eau ou mastiquées. Le guarana est utilisé en pharmacopée comme produit tonifiant et thermogène.

C'est une liane ligneuse, pouvant atteindre 4 m de haut dans sa zone d'origine, à feuilles alternes composées de cinq folioles, produisant des panicules de fleurs jaunes puis des fruits en grappes en forme de poire. Des vagues successives de production florales staminales et ovariennes alternent et la reproduction peut être améliorée par l'intervention d'abeilles.

Le fruit, déhiscent, est une capsule coriace contenant d'une à trois graines recouvertes d'une épaisse pellicule blanche : l'arille. Les fruits mûrs ont une couleur jaune rouge alors que la graine est noire. Une liane peut porter de 3 à 10 kg de graines. Les graines contiennent de la guaranine, de la caféine, de la théophylline et de la théobromine aux propriétés toniques, stimulantes et analgésiques. La reproduction peut s'effectuer par semis mais, dans les nouvelles plantations, on procède actuellement par bouturage.

Le guarana doit être cultivé dans des zones où les conditions du milieu se rapprochent de celles de sa zone d'origine. C'est une plante de forêt équatoriale, héliophile. Les précipitations annuelles doivent être idéalement comprises entre 2 200 mm et 2 500 mm, distribués de façon régulière.

Le guarana apprécie les températures constantes avec une moyenne annuelle de 28°C, la température minimale tolérée étant de 12°C. Il pousse sur des sols de gley ou latéritiques dystrophiques, dont la fertilité est faible, le pH très acide (3,5 à 4,5) avec une grande concentration en aluminium.

● **La culture**

La graine perd son pouvoir germinatif après 3 jours si elle n'est pas placée dans des conditions de germination. La germination peut prendre plus de cent jours. L'espacement des plantes est d'environ 4 m sur 5 m. Aucune fertilisation n'est nécessaire. On réalise, dès la deuxième année, une taille des branches malades et de celles qui ont fleuri la première année. Une taille de formation permet de diriger les branches sur des supports.

La récolte des grappes intervient lorsque les fruits éclatent et laissent apparaître les graines noires. Le péricarpe est enlevé de façon manuelle. La graine et l'arille sont mis à tremper. On peut les torréfier pendant 40 mn, ce qui entraîne l'éclatement des enveloppes et le tri des amandes : les plus belles sont utilisées dans la fabrication des bâtons de guarana, les autres dans la préparation de boissons.

Une autre méthode consiste à décortiquer, laver puis torréfier les graines pendant six heures, puis à les placer dans des sacs et à les secouer jusqu'à ce que l'enveloppe externe se détache. Elles sont ensuite broyées jusqu'à l'obtention d'une fine poudre qui est mélangée avec de l'eau et transformée en pâte. Cette pâte est roulée en petits cylindres et laissée sécher au soleil ou sur un feu jusqu'à ce qu'elle durcisse.

Le traitement industriel existe également et permet d'obtenir un sirop avec lequel on fabrique, au Brésil, des boissons gazeuses.

LE KOLATIER

Famille des Sterculiaceae

Le genre *Cola* comprend une quarantaine d'espèces en Afrique de l'Ouest. *Cola nitida* et *Cola acuminata* sont les plus importantes.

Cola acuminata

Français : kolatier sauvage :

Anglais : kola nut, abata cola

Espagnol : colatero

Portugais : coleira

Cola nitida

Français : kolatier

Anglais : kola, bitter cola

Espagnol : colatero

● **La plante et ses utilisations**

Originnaire d'Afrique tropicale, le kolatier est cultivé en Sierra Leone, en Inde, au Brésil, à Java, en Côte d'Ivoire, au Nigeria, au Gabon et au Congo.

Croquées ou râpées pour lutter contre la fatigue, le sommeil et la faim, les noix de cola sont caractérisées par une grande amertume. *C. nitida* est la noix commercialisée alors que *C. acuminata* a une grande importance sociale (comme cadeau de bienvenue, pour les demandes en mariage, etc.). Les graines sont utilisées pour leurs caractéristiques appétantes et stimulantes. Elles contiennent de la caféine et entrent dans la composition d'une boisson. On prête également des vertus magiques à certaines noix de couleur ou de taille exceptionnelle. En Europe, aux Etats-Unis et au Nigeria, la noix de cola entre actuellement dans la fabrication de médicaments, vins ou liqueurs.

Il existe une grande variabilité entre les kolatiers. Ce sont des arbres touffus, d'une dizaine de mètres de hauteur, à fleurs jaunes et à feuilles persistantes, longues de 15 à 20 cm, oblongues, coriaces et pointues aux deux extrémités. La couleur des fruits mûrs est proche de celle des feuilles. *C. nitida* possède deux cotylédons alors que *C. acuminata* en possède au moins six.

Le kolatier donne successivement, dans l'année, des fleurs mâles puis des fleurs hermaphrodites puis à nouveau, en fin de floraison, des fleurs mâles. Le nombre de fleurs hermaphrodites est positivement corrélé au rendement. La principale période de floraison dure trois mois. Entre la pollinisation et la maturité du fruit il s'écoule de 120 à 135 jours. Les graines sont dans des capsules ligneuses coriaces oblongues d'environ 8 cm de long. Il est difficile de récolter tous les fruits qui se dissimulent parmi les feuilles dont ils ont la couleur. La récolte est donc souvent incomplète. Les cotylédons sont séparés et séchés. Ils ont une taille de 2,5 à 5 cm lorsqu'ils sont vendus.

● La culture

La propagation s'effectue soit par graines, soit de façon végétative (greffage, bouturage, marcottage). La germination est de bonne qualité et d'autant plus rapide que la noix de cola a atteint sa totale maturité. *C. nitida* germe plus lentement que *C. acuminata*. Chez *C. acuminata*, ce sont les noix roses qui germent le plus rapidement, alors que chez *C. nitida*, ce sont les noix blanches. La température optimale de germination est de 30°C pour *C. nitida*, et de 30°C à 35°C pour *C. acuminata*. Les noix germées sont plantées dans des sachets de polyéthylène.

Le kolatier pousse de préférence près des côtes ou dans les plaines de faible altitude. Il se développe sur des sols sableux à argilo-sableux, avec une faible capacité de rétention d'eau et peu de nutriments. Les arbres sont plantés à des écartements de 7 à 9 m. La croissance des plants est meilleure dans des zones ombragées, où on obtient des feuilles plus grandes.

LE MATÉ

Ilex Paraguayensis

Français : maté, herbe maté, thé du Paraguay

Anglais : mate, Bresilian tea, Paraguay tea

Espagnol : maté, yerba maté, té de los jesuitas

Portugais : congonha, erva maté

Famille des Aquifoliaceae

Cette plante, originaire du Brésil, est cultivée en Argentine, au Paraguay, en Uruguay et au sud du Brésil, entre 10° et 30° de latitude Sud. Les feuilles sont séchées et réduites en poudre. Infusées, elles constituent une boisson légèrement amère, stimulant le système nerveux central, diurétique et antirhumatismale, et contenant également des vitamines A, C et B.

La plante est un arbuste à feuilles persistantes et coriaces, d'une hauteur de 4 à 8 m, à fleurs blanches, hétérogames et dioïques. La pollinisation est entomophile et s'effectue grâce à des diptères et des hyménoptères. Le maté pousse naturellement près des cours d'eau. Les feuilles alternes, larges, ovales ou lancéolées et légèrement dentelées contiennent 1 % de caféine. Le fruit est une drupe rouge de la taille d'un grain de poivre.

Le maté pousse sur des sols latéritiques plutôt acides (pH 5,8 à 6,8), à texture fine ou moyenne. Il nécessite des températures élevées (moyennes annuelles de 21 à 22°C). La température minimum tolérée est - 6°C. Les précipitations annuelles doivent être supérieures à 1 500 mm et régulièrement réparties. Pendant la saison froide, les précipitations doivent atteindre un minimum de 250 mm. Le maté fleurit d'octobre à décembre.

Le maté est multiplié par semis des graines, qui doivent être scarifiées et semées immédiatement après récolte. Sans traitement, les graines ne germent que la seconde année et perdent leur vitalité. Conservées à 5°C, les graines ont une capacité germinative de 1,7 à 6,6 % pendant onze mois. Le bouturage sous serre ou la culture in vitro semblent se développer mais sont encore très peu répandus.

Le maté est une plante à croissance rapide qui peut donner une récolte un an après sa plantation. Trois types d'itinéraires techniques sont diffusés :

- > *exploitation de la forêt naturelle* : aucune opération mécanisée, taille rarement réalisée;
- > *enrichissement de la forêt naturelle* : augmentation de la densité par plantation dans la forêt en place. On pratique la taille et des soins aux cultures ;
- > *corte mesa système* : les arbres sont plantés en suivant les courbes de niveau, on utilise également des plantes de couverture, on applique des fertilisants et des traitements phytosanitaires, on contrôle les adventices. La récolte est mécanisée.

L'extrémité des branches qui porte de jeunes feuilles est récoltée après la nouvelle pousse. Les feuilles sont ensuite légèrement passées au four jusqu'à ce qu'elles soient sèches.

Un arbre sauvage peut produire de 30 à 40 kg de feuilles séchées par an. La production annuelle de maté est de 300 000 t. L'Argentine, avec 130 000 ha de plantations produit 140 000 t de feuilles. Il n'existe pas de demande en dehors de la zone de production.

LE TABAC

Nicotiana tabacum

Anglais : common tobacco

Espagnol : tabaco

Portugais : tabaco

Famille des Solanaceae, genre : *Nicotiana*, trois sous-genre, soixante sept espèces dont *Nicotiana tabacum* qui représente 90 % des tabacs cultivés dans le monde.

● **Les utilisations du tabac**

Le tabac est originaire principalement des Amériques (Nord et Sud), mais une espèce est originaire d'Australie et une autre a été découverte en Afrique.

La feuille contient des alcaloïdes dont principalement la nicotine, excitant des systèmes cardiovasculaire et nerveux central. Le tabac à fumer est, de loin, le plus important. La feuille séchée sert pour les cigarettes (90 à 95 %), le tabac pour pipe (1 à 2 %) et les cigares (2 à 3 %). Le tabac à mâcher ou à priser est consommé, entre autres, dans les lieux où il est interdit de fumer pour des raisons de sécurité (mines, bateaux, chantiers). Il existe également des tabacs ornementaux aux fleurs de couleurs vives. Enfin des décoctions de tabac peuvent être utilisées comme insecticide.

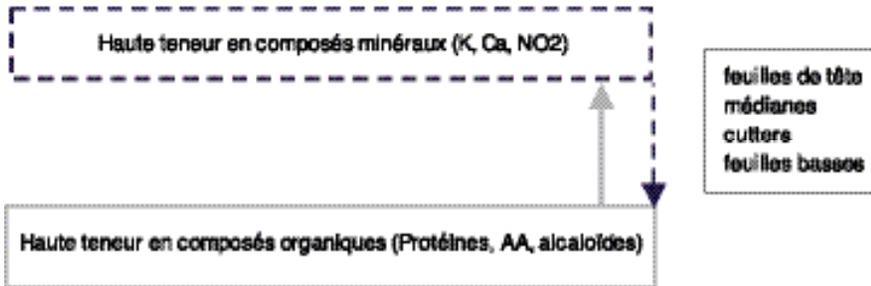
● **La plante**

C'est une espèce annuelle, à tige unique, droite, de hauteur variable selon les variétés. Les feuilles sont simples, sessiles et alternes. Le limbe est entier et les nervures sont apparentes. Les feuilles sont souvent couvertes de poils qui sécrètent des gommes et des résines. La dimension des feuilles varie de 40 à 80 cm de long sur 20 à 45 cm de large. Les plus grandes feuilles se situent à la base du plant et les plus petites au sommet. Les fleurs hermaphrodites sont de couleur rose, blanche ou jaunâtre. De nombreuses variétés sélectionnées ne produisent plus de pollen. Le fruit est une capsule ovoïde qui contient jusqu'à 3 000 graines dont le diamètre est inférieur à 1 mm. On compte de 4 000 à 13 000 graines par gramme et un pied de tabac peut produire de 10 à 20 g de graines.

Le pied de tabac émet dans des conditions normales de vingt à vingt-huit feuilles avant l'apparition du bouton floral. Si un froid et une diminution de l'éclairement interviennent pendant une dizaine de jours, alors l'apex risque de se transformer précocement en bouton floral au stade treize ou dix-huit feuilles.

La nicotine est synthétisée dans les racines, puis transportée dans les feuilles (principalement dans les extrémités du limbe). Une partie de la nicotine disparaît au cours du séchage. Les caractéristiques physiques et chimiques de la feuille varient en fonction de son niveau d'insertion sur la tige et ce gradient est accentué par l'écimage.

La récolte est donc divisée en groupes de feuilles de même étage foliaire, utilisés par les industriels de façon spécifique.



► Figure 1 : Caractéristiques des feuilles de tabac selon leur étage foliaire

Le tabac se développe dans de nombreux milieux entre 60° Nord et 40° Sud. Il préfère les sols profonds, francs ou légers, bien pourvus en matière organique et qui se réchauffent facilement, de pH acide (< 6). La température agit sur la durée du cycle végétatif. Le tabac n'aime pas les températures inférieures à 13°C. L'humidité de l'air favorise la production de feuilles fines et dépourvues de gommes tandis que sous un climat sec, les tabacs sont gommeux, corsés, aromatiques et ont des feuilles étroites et épaisses.

● La culture

La durée de végétation sur le champ varie considérablement selon les variétés (50 à 150 jours). On la divise en quatre phases :

- > *phase de germination épigée*. La levée a lieu huit à dix jours après le semis (douze à quinze jours en période froide) ;
- > *phase de croissance* : les cotylédons verdissent et s'élargissent en forme de feuilles. Le stade trois à quatre feuilles est atteint après 20 à 30 jours, le stade six à sept feuilles après 50 à 90 jours (10 à 12 cm de hauteur). Les plants peuvent alors être repiqués. Pendant le mois qui suit la transplantation, la croissance est ralentie ;
- > *phase de floraison* : l'inflorescence apparaît après 130 à 170 jours ;
- > *phase de maturation* : les feuilles jaunissent de la base vers le haut. La maturation s'étale sur un mois.

● La plantation et l'entretien

La capacité germinative des graines est maintenue par une conservation dans des lieux secs à l'abri de la lumière et des variations brusques de température. Le semis direct n'est pas possible en raison de la petitesse des graines. Le semis se fait en pépinière à une densité de 0,15 à 0,18 g/m². Lorsque les températures sont basses, pour stocker les plants en début de saison de culture, on peut utiliser des mini-serres ou des films de polyéthylène. L'enrobage des graines facilite le maniement, notamment l'utilisation de semoirs et de techniques de culture hors sol (semis flottants) par les gros producteurs.

La densité de repiquage varie selon le type de tabac cultivé (voir tableau 12). L'écimage vise à augmenter le rendement (jusqu'à + 35 %) et la teneur en nicotine dans les feuilles. La floraison des tabacs se produit deux mois après leur transplantation et les plantes sont alors écimées : on coupe le sommet de la tige qui comprend l'inflorescence et les feuilles les plus jeunes dont on supprime la dominance apicale. Après cette opération, la croissance des racines est accélérée, la synthèse de la nicotine augmente ainsi que la teneur en alcaloïdes des feuilles. On peut aussi utiliser des régulateurs de croissance pour empêcher la croissance des bourgeons axillaires et favoriser l'accumulation de matière sèche dans les feuilles.

● Le séchage et la fermentation

Le séchage (*curing*) est une des principales opérations qui a lieu après la récolte. Il entraîne la révélation d'arômes spécifiques et de couleurs caractéristiques de chaque variété de tabac. En effet, les substances aromatiques ne sont pas présentes dans le tabac vert mais apparaissent au cours des transformations de la feuille (dessiccation, fermentation), à partir de substances précurseurs d'arômes déjà présentes dans les feuilles. Après le séchage, le tabac brun subit une fermentation. Puis les tabacs sont triés (ce qui est exigeant en main-d'œuvre) et vieillissent lors du stockage.

La fermentation concerne surtout le tabac brun. Elle permet d'assurer la conservation et d'améliorer les caractéristiques organoleptiques du tabac. Elle a lieu après le séchage et peut se faire soit naturellement en mettant les feuilles en tas, soit en salle conditionnée humide et parfois sous presse. Lors de la fermentation en tas, un échauffement spontané se produit dans les jours qui suivent la mise en tas et la température s'élève progressivement pour atteindre un palier entre 50 et 60°C. Dès que la température diminue (au bout d'un mois), on retourne le tas. Cette opération peut être répétée deux à quatre fois.

On distingue les tabacs blonds, doux, destinés principalement aux manufactures de cigarettes et les tabacs bruns plus forts et destinés à tous les usages. On peut affiner et définir cinq catégories principales qui tiennent compte du séchage, de la variété et de l'utilisation.

Tableau 12. Les cinq principales catégories de tabac

Type	<i>Flue-cured</i> Virginia	<i>Dark air-cured</i> Tabac brun et brun doux	<i>Light air-cured</i> Tabac clair, Burley	<i>Dark Fire-cured</i> Kentucky	<i>Sun-cured</i> Tabac d'orient
Couleur	Jaune blond	Brun	Marron clair à brun rouge	Noir	Jaune blond
Caractéristiques de la plante	Doit avoir une bonne aptitude au jaunissement et conserver beaucoup de sucre dans les feuilles	Tabac de coupe ¹ : nombreuses variétés Tabac de cape ² : variétés à feuilles larges et nervures peu marquées	Tabacs déficients en chlorophylle, mais vigoureux, plus de 25 feuilles récoltables Bonne capacité à absorber des solutions aromatiques	Variété aux feuilles de grande taille	Plantes élancées avec feuilles de petite taille (8 à 25cm) sessiles ou pétiolées avec nervures fines Accumulation d'huiles essentielles dans les feuilles

Tableau 12. Les cinq principales catégories de tabac (suite)

Type	<i>Flue-cured</i> Virginia	<i>Dark air-cured</i> Tabac brun et brun doux	<i>Light air-cured</i> Tabac clair, Burley	<i>Dark Fire-cured</i> Kentucky	<i>Sun-cured</i> Tabac d'orient
Sols optimaux	Sols légers et acides, limons sableux ou sables argileux Exigence particulière en azote en début de culture	Tabac de coupe : sols lourds et riches en matière organique Tabac de cape : sols plus légers et bien drainés	Lourds et riches Bonne réponse à la fumure animale	Sols légers, limono-sableux ou sablo-argileux	Types aromatiques : zones de montagne ou collines sur sols de faible fertilité Types ordinaires : plaines plus fertiles
Climats optimaux	Temp.: 24°C à 32°C le jour et 15°C à 18°C la nuit. Pluies abondantes et régulières, sinon irrigation	Très variables, souvent tropicaux et maritimes Temp. : 21 à 33°C. Pluies abondantes et régulières, sinon irrigation	Pluies abondantes et régulières ; sinon irrigation	Nécessité de températures plus élevées que les autres tabacs	Climat méditerranéen Nécessité d'une période fortement ensoleillée longue Pas d'irrigation
Écimage	Tabac très aromatique : écimage précoce (stade 15 à 18 feuilles) En Europe, écimage juste après floraison	Écimage tardif et haut	Écimage au début de la floraison et en laissant plus de feuilles que pour le Virginia		Pas d'écimage : tabacs légers et faible teneur en alcaloïdes
Récolte	Tardive (2 à 3 mois) Par groupe de 2 à 3 feuilles en commençant par le bas	Tabac de coupe : après 50 jours environ, récolte de la tige feuillée Tabac de cape : récolte des feuilles une par une	Récolte de la plante entière quand les feuilles basses sont surmatures (jaunes) pour ne pas perdre de feuilles	Récolte précoce quand les feuilles sont vert sombre	Récolte débutant 6 à 8 semaines après la plantation par groupes de 3 à 5 feuilles en partant du bas de la plante
Type de séchage	À l'air chaud	À l'air naturel parfois ventilé	À l'air naturel parfois ventilé	Au feu de bois	Au soleil
Durée du séchage	Une dizaine de jours	Deux mois environ	Deux mois environ	Trois à huit jours à la fumée de bois, puis à l'air libre	De 1 à 3 semaines
Détails du séchage	Système de répartition de l'air chaud, homogénéisation de l'humidité. Jaunissement (2 jours), fixation de la couleur (3 jours), réduction des côtes (2 jours), réhumidification des tabacs	Trois phases : jaunissement, brunissement, puis réduction des côtes. Pendant les deux dernières phases, l'humidité de l'air doit être réduite. Utilisation de séchoirs en briques ou en bois, bien aérés, avec divers systèmes d'accrochage des tabacs. Température et humidité de l'air régulées par des ventilateurs Tabac de cape : il est séché en feuilles		La tendance est à une réduction du temps d'exposition à la fumée	Guirlandes fixées sur des cadres de bois exposés au soleil
Objectifs du séchage	Les pigments verts sont détruits alors que les jaunes sont révélés. Éviter le brunissement qui fait disparaître les sucres	Hydrolyse totale des sucres en même temps que pigments bruns (plus faiblement pour le tabac Burley)		Comme pour les deux précédents + importance de la fumée de bois pour donner un goût de fumé	Préserver les sucres et les composants aromatiques spécifiques issus des huiles essentielles des feuilles

1 Tabac destiné à la fabrication de cigarettes, de tabac pour pipes.

2 Tabac au parenchyme fin, résistant et de bel aspect, dont les découpes servent d'enveloppe extérieure aux cigares.

● La production

La production mondiale de tabac atteignait 6,7 millions de tonnes de feuilles sèches en 2000. Elle a doublé durant les cinquante dernières années. Trente millions de personnes sont employées à cette culture et certains pays ont une économie très liée à cette production. On cultive du tabac presque partout dans le monde (110 pays producteurs), mais la production est inégalement répartie : dix pays concentrent 80 % de la production. L'Asie représente 61 % de la production, les Amériques 22 %, l'Europe 10 % et l'Afrique 7 %.

L'évolution de la production mondiale est caractérisée par le développement marqué de la production des tabacs *flue-cured* (60 % de la production), l'augmentation des tabacs *Burley* (12 %), la stagnation de la production des tabacs bruns et assimilés et la baisse de la production des tabacs orientaux.

Tableau 13. Production mondiale de tabac en milliers de tonnes

<i>Flue-cured</i> ou Virginia		<i>Light air-cured</i> ou Burley	
Chine	2010	Etats-Unis	226,3
Etats-Unis	338	Malawi	101
Brésil	277	Chine	80
Zimbabwe	199,5	Brésil	53
Inde	110	Italie	48
<i>Sun-cured</i> ou tabac d'Orient		<i>Fire-cured</i> ou Kentucky	
Turquie	202	Etats-Unis	18,1
Grèce	82	Pologne	8,5
Moldavie	36	Malawi	7
Azerbaïdjan	31	Italie	6
Kirghizstan	21	Tanzanie	5
<i>Dark air-cured</i> ou tabac bruns cigarettes		<i>Dark air-cured</i> ou tabac bruns cigares	
Inde	400	Cuba	26
Chine	250	Indonésie	18,8
Indonésie	109	Etats-Unis	8,9
Brésil	48	Philippines	8
Bengladesh	38	Brésil	5

Les principaux pays exportateurs sont le Brésil, les Etats-Unis, le Zimbabwe, la Turquie et la CEI. 75 à 80 % du tabac en feuilles produit est consommé localement. Le reste, soit 1,7 millions de tonnes est commercialisé. Les principaux pays importateurs sont la CEI, l'Allemagne, les Etats-Unis, le Japon et le Royaume-Uni. La plupart des pays achètent le tabac en feuilles et réalisent la transformation en cigarettes.

LE THÉIER

Camelia sinensis

Anglais : tea

Espagnol : té

Portugais : chá

Famille des Theaceae

● Les utilisations du théier

Le théier, décrit en 1712 par Kaempfer, est une plante stimulante dont on utilise les feuilles pour préparer des infusions. L'action stimulante est due à un alcaloïde, la caféine, chimiquement identique à celle extraite du café.

Il a été recensé 82 espèces du genre *Camelia* mais seul le théier a une importance économique. Le théier est une plante diploïde ($2n = 30$) mais on trouve des polyploïdes spontanés.

Occasionnellement, on peut broyer les graines du théier pour en extraire 30 à 45 % d'huile destinée à la savonnerie. Les tourteaux contiennent de la saponine, molécule toxique.

● La plante et son environnement

● La plante

● L'origine et les aires de culture

Le théier est originaire des régions montagneuses d'Asie du Sud-Est. La zone de culture du théier est extrêmement vaste pour une plante d'origine tropicale : elle s'étend des zones équatoriales chaudes et humides aux zones tempérées froides (latitude 43° Nord en Géorgie et 27° Sud en Argentine).

● La physiologie de la croissance

La croissance du théier est périodique, sans relation apparente avec le climat dans les conditions normales de culture : une phase de croissance végétative (*flushing period*) est suivie d'une phase de dormance (*bandji period*) pendant laquelle le bourgeon prépare la poussée suivante. Le *bandji* est un petit bourgeon qui apparaît lorsque la dernière feuille d'une pousse a atteint sa taille maximum.

Au cours de la phase de croissance qui dure cinquante à quatre-vingts jours, le bourgeon grossit, forme deux bractées sessiles puis une première préfeuille anormale (*fish leaf*), suivie d'une seconde (*janam*) et ensuite deux ou trois feuilles normales et un *pekoe* formé d'une série de feuilles enroulées sur elles-mêmes (faux bourgeon terminal).

La période de grossissement représente 51 % de la phase de croissance, la formation de la préfeuille 30 % et la poussée des feuilles 19 % du temps total. La gestion de la cueillette doit prendre en compte la physiologie de la croissance, de façon à ce que les périodes de dormance ne perturbent pas la récolte.

● Les modes de reproduction

La sélection et la multiplication génératives

Les plantations issues de graines sont très hétérogènes (production, qualité, aptitude à la fermentation) en raison de l'allogamie du théier. Afin de limiter cette hétérogénéité, les sélectionneurs ont procédé à des sélections massales dans les descendances successives de théiers de production, jusqu'à l'établissement de jardins semenciers bi ou polyclonaux.

Les graines donnent des théiers plus performants mais hétérogènes. Malgré l'hétérogénéité des descendances, la multiplication par semis reste la technique la plus usitée. Les graines (diamètre > 10 mm), dont le pouvoir germinatif se conserve trois à quatre semaines, sont mises en germe. Les jeunes plantules sont repiquées sous ombrière, en sachets polyéthylène ou en plate-bande dans un sol sablo-argileux pauvre en matière organique, à pH < 5,5 et indemne de nématodes. Les plants sont ensuite mis au champ, soit dix à douze mois plus tard (semenceaux), soit après quatorze à dix-huit mois (*stumps*). Il faut 30 à 40 kg de graines pour un hectare.

La sélection et la multiplication végétatives

Le bouturage d'arbres repérés pour la production et la qualité à la tasse a permis de constituer des plantations polyclonales homogènes. Les boutures, constituées d'un entre-noeud et d'une feuille, sont prélevées sur des parcs à bois et mises à enraciner directement dans des sachets en polyéthylène, dans un substrat identique à celui des semenceaux. Les plants peuvent être mis au champ neuf à vingt mois plus tard.

● L'écologie du théier

- > la pluviométrie doit être comprise entre 1 500 et 2 500 mm par an, avec une bonne répartition mensuelle et moins de trois mois secs (< 50 mm/mois). Au-delà de 200 mm et en-dessous de 100 mm mensuels, le rendement baisse ;
- > la température optimale est comprise entre 18°C et 25°C. Le zéro végétatif est de 12°C et la température létale à - 5°C. Au-dessus de 30°C, le rendement diminue ;
- > l'optimum d'ensoleillement est de cinq heures par jour ;
- > l'hygrométrie optimale est comprise entre 70 et 90 %. Il faut éviter les vents desséchants. Les brise-vents et un ombrage permanent favorisent le maintien d'une humidité suffisante ;
- > la grêle, par son effet mécanique, peut entraîner des pertes importantes de récolte ;
- > les sols doivent avoir un pH inférieur à 5,5, être bien drainés et riches en matière organique.

● La culture

● Les systèmes de culture

La culture du théier se répartit entre les grandes exploitations industrielles de 500 ha ou plus et les petites exploitations familiales. Étant donné qu'il faut 500 à 700 journées de travail par hectare, les petites exploitations ne peuvent pas excéder 0,20 à 0,25 ha.

Hormis le cas où la production est traitée de façon artisanale, l'usinage du thé est fait dans de petites unités traitant au moins la production de 100 à 200 ha. Ceci suppose un regroupement des exploitations dans un rayon d'une dizaine de kilomètres car les feuilles doivent être traitées au plus tard six heures après la récolte.

Compte tenu des besoins en main-d'œuvre, il est probable que la production familiale va se développer.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

Les meilleurs rendements sont obtenus avec des densités de plantation comprises entre 10 000 et 15 000 arbustes/ha selon les zones écologiques. Le rendement est fortement lié à la taille, à la fertilisation et au système de cueillette.

● La taille

La taille de formation consiste à former la charpente du théier en favorisant la pousse de rameaux secondaires et tertiaires. Cette opération se pratique en trois fois, avec une année entre chaque intervention et sans cueillette afin d'éviter l'épuisement de l'arbuste. La dernière taille ou *tipping* sert à former la table de cueillette sur laquelle seront faites les récoltes. Le *tipping* doit être parallèle au sol. Un bon *tipping* couvre parfaitement le sol et limite la pousse des adventices.

La taille de production se pratique tous les deux à six ans et son but est d'abaisser la table de cueillette qui s'élève de 5 à 10 cm/an selon le type de cueillette. Cette taille élimine les brindilles et branches surnuméraires, tout en conservant le maximum de feuilles pour assurer la constitution des réserves.

La taille de régénération se pratique lorsque la table devient trop haute pour pratiquer une taille de production. Le théier est rabattu à 0,35 m du sol et on procède ensuite à une taille de formation.

● La fumure

Une tonne de thé sec exporte 40 à 50 kg de N ; 7 à 9 kg de P_2O_5 et 20 à 25 kg de K_2O . On a montré expérimentalement qu'1 kg d'azote augmente la production de 4 à 8 kg de thé sec. Dans la pratique, on apporte 100 à 250 kg d'azote par ha soit sous forme d'urée, soit avec un complexe NPK (25-5-5 ou 28-5-14 ou 10-2-4). L'apport de matière organique se fait en laissant les émondes de taille sur le terrain.

● La cueillette

Un cycle de cueillette dure de six à quatorze jours selon la saison. On ne cueille que les pousses adultes constituées du *pekoe* plus deux ou trois feuilles (P+2 ou P+3). Un gain de production de 25 % est obtenu en cueillant à P+3 au lieu de P+2. Il est aussi conseillé de cueillir le *banji* plus une feuille afin de faire débourrer les bourgeons axillaires. La cueillette se fait sur *fish leaf* ou sur *janam*, c'est-à-dire au niveau des pré-feuilles. Le choix des pousses à récolter est dicté par le chef d'usine, en fonction de la qualité recherchée.

● **Le contrôle sanitaire**

Les rendements peuvent être affectés par l'état sanitaire des plantations. Parmi les maladies ayant une réelle incidence économique, on citera les pourridiés² qui nécessitent un arrachage et une mise en jachère du sol avant de replanter. Seule une maladie des feuilles, la cloqué provoquée par *Exobasidium vexans*, est dangereuse pour le théier. Le traitement se fait avec un fongicide à base de cuivre. Les insectes peuvent localement constituer un danger sérieux mais, en règle générale, les populations sont stables et en équilibre.

● **La récolte et le traitement post-récolte**

Un cueilleur peut récolter 60 kg de feuilles par jour. En même temps il doit pincer et éliminer les pousses trop jeunes et surnuméraires (*breaking back*) afin de maintenir la table de cueillette à hauteur.

Sauf pour les théés particuliers correspondant à des marchés de niche, le traitement post-récolte se fait généralement dans des unités spécialisées. Il existe trois grands types de thé : le thé noir ou fermenté, le thé vert et le thé semi-fermenté. Les feuilles de thé contiennent 70 à 80 % d'eau. Le thé sec n'en contient que 2-3 %.

Le thé noir subit un flétrissage au cours duquel une partie de l'eau est évaporée sous un courant d'air tiède. Ensuite le roulage brise les feuilles et en extrait le jus. La fermentation qui transforme les polyphénols en théaflavines et théarubigines par oxydation enzymatique se déroule à 25° pendant 30 à 90 minutes. Le séchage arrête la fermentation et permet de stocker le thé avant le triage et le conditionnement.

Le thé vert est torréfié (méthode chinoise) entre 90° et 280°C ou étuvé (méthode japonaise) avant d'être séché. Cette méthode détruit l'enzyme responsable de l'oxydation des polyphénols. Les théés verts sont souvent parfumés.

Le thé semi-fermenté ou Oolong est une spécialité de Taïwan. La fermentation est incomplète.

● **La production actuelle et les perspectives**

La surface totale des plantations de théiers est estimée à 2,6 millions d'hectares pour une production d'environ 2,3 millions de tonnes. L'Asie, avec 86 % des surfaces, est le premier producteur mondial (60% de la production). L'Afrique, avec 8 % des surfaces, produit 12 % du thé. Le reste se répartit entre l'Amérique du Sud et la Russie.

Le thé noir représente 80 % de la production totale.

Le Qatar est le premier consommateur avec plus de 4 kg par habitant et par an, suivi de la Grande Bretagne et de l'Irlande avec 3 kg et des pays du Proche Orient avec 2 kg. Les pays de l'Union européenne ne consomment qu'entre 50 et 500 g de thé.

On notera que la Grande Bretagne se tourne de plus en plus vers la consommation de café et surtout de boissons fraîches. De même, on observe une évolution semblable de la consommation dans les pays traditionnellement buveurs de thé comme le Vietnam, la Chine ou le Japon.

² *Armillariella mellea*, *Rosellinia arcuata*, *Phellinus lamaensis*, etc.

Bibliographie

Le cacaoyer

DE LATTRE-GASQUET M., DESPREAUX D., BAREL M., *Prospective de la filière du cacao*in Marchés tropicaux et méditerranéens- N°2788 ; 16 avril 1999.

PONTILLON J. (coordonnateur), *Cacao et Chocolat*, Collection sciences et techniques agroalimentaires - Tec & doc Lavoisier, Paris 1997.

Le caféier

CAMBRONY, H.R. *Le Caféier*. Collection Le Technicien d'agriculture tropicale, Maisonneuve & Larose, CTA, 1989.

WILLSON, K.C., *Coffee, Cocoa and Tea*. Collection Crop Production Science in Horticulture, CABI Publishing, 1999.

Le tabac

AKEHURST B.C. , *Tobacco, Tropical Agriculture Series*, 1981, 764 p.

PITIÉ B., SCHILTZ P., *Le tabac, Que sais-je ?* Le point des connaissances actuelles, PUF, 127 p, 1999.

Le théier

BONHEUR D., *Le Théier*, Collection Le technicien d'agriculture tropicale, Ed. Maisonneuve & Larose, CTA, 1989

EDEN T., 1976, *Tea*, 3^{ème} éd., Longmans, 1976.

Les plantes à épices

À partir des contributions de A. Caburet et C. Hekimian Lethève

- > **L'anis étoilé**
- > **Le cannellier**
- > **La cardamome**
- > **Le curcuma**
- > **Le gingembre**
- > **Le giroffier**
- > **La muscade et le macis**
- > **Le poivrier**
- > **Le vanillier**

L'ANIS ÉTOILÉ OU BADIANE

Illicium verum Hook. f.

Anglais : chinese star anise, star anise

Espagnol : anis estrellado, badiana

Portugais : anis-estrelado

Famille des Illiciaceae

Le badianier est un arbre originaire de Chine, produisant des fruits en forme d'étoile, utilisés comme épice. L'huile essentielle extraite de ce fruit est utilisée comme arôme par l'industrie alimentaire et comme constituant de parfums. Le fruit et l'huile essentielle sont également très utilisés en médecine traditionnelle. Il est cultivé essentiellement en Asie. Les principaux pays producteurs sont l'Inde, le Mexique et la Chine.

Le badianier peut atteindre 20 m de haut. Les feuilles, alternes, sont coriaces, de forme lancéolées ; les fleurs, petites, sont axillaires, rosées ou jaunâtres ; le fruit est une capsule brune en forme d'étoile, de 2,5 à 4,5 cm de diamètre, constituée de follicules agrégés autour d'un axe central ; chaque follicule contient une graine, brun clair, de 8 à 9 mm sur 6 mm.

Cet arbre se développe bien à une température annuelle moyenne de 12 à 18 °C, dans les régions subtropicales et tropicales fraîches (en altitude en particulier). Il se multiplie par graines, celles-ci devant être semées dans les jours suivant la récolte. Les plants restent en pépinière environ trois ans ; ils sont plantés au champ à une distance de 6 ou 7 m. La floraison démarre à l'âge de six ans.

Les fruits sont récoltés manuellement, juste avant maturité complète pour obtenir le maximum d'huile essentielle. La récolte varie de 5 à 45 kg de fruits frais par arbre, selon l'âge et les conditions climatiques. Les fruits sont séchés au soleil après la récolte, puis stockés dans un endroit sec. Les feuilles sont également distillées, mais leur teneur en huile essentielle est très faible (0,3 à 0,4 %).

LE CANNELIER

Cinnamomum verum Presl. - Syn. : *C. Zeylanicum*

Anglais : cinnamon

Espagnol : canela

Portugais : canela

Famille des Lauraceae

Le cannellier, originaire du Sri Lanka, est cultivé pour son écorce utilisée en pâtisserie, en confiserie, dans certaines boissons et en cuisine. On extrait également de l'huile essentielle de ses feuilles, utilisée en parfumerie. Les principaux producteurs sont l'Indonésie, la Chine et Sri Lanka.

C. verum est la véritable cannelle ; d'autres arbres portent l'appellation *cannelle*, mais leur écorce est de moins bonne qualité : *C. cassia* (cannelle de Chine), la plus répandue, *C. burmanii* (de Birmanie), *C. loureiri* (de Saïgon).

Le cannellier est un arbre à feuillage persistant, de 10 à 12 m de haut et à l'écorce rougeâtre. Les feuilles sont opposées, trinervées, coriaces, luisantes, pétiolées, de forme lancéolée. Les inflorescences sont des cymes à petites fleurs blanc jaunâtre, produisant des drupes globuleuses de 1,5 à 2 cm de long. Le cannellier demande une pluviosité annuelle de 2 000 à 2 500 mm.

Le cannellier est surtout cultivé en pur et mené en taillis. Il est multiplié par boutures, marcottes, éclats de souche enracinés ou par graines. La production de plants en pépinière à partir des graines (lavées au préalable et séchées à l'ombre) est assez longue : huit à neuf mois.

Les plants âgés de deux à trois ans sont rabattus légèrement au-dessus du sol, puis buttés afin de favoriser la formation de rejets. On garde jusqu'à une dizaine de tiges. Ces tiges sont élaguées régulièrement, pour qu'elles poussent bien droit. L'arbre ne reçoit que rarement une fumure.

Les rares maladies observées sont les suivantes :

- > *Phytophthora cinnamomi*, qui attaque le tronc et les branches des jeunes plants, en terrain mal drainé ;
- > des pourritures des racines ;
- > une rouille sur les organes aériens (*Aecidium cinnamomi*).

La première récolte a lieu vers trois à quatre ans (pour *C. verum*), les récoltes ultérieures ayant lieu tous les deux ans. La production commence à diminuer vers la dixième année. La récolte doit avoir lieu en saison humide car l'écorce est plus facile à extraire. Les rendements moyens sont de l'ordre de 180 à 220 kg/ha d'écorce de premier choix (*quills*) et 60 à 65 kg/ha d'écorce de second choix. L'écorce est séchée au soleil pendant trois à cinq jours ou dans des hangars chauffés artificiellement.

LA CARDAMOME

Elletaria cardamomum (L.) Maton

Anglais : cardamom

Espagnol : cardamomo

Portugais : cardamomo

Famille des Zingiberaceae

Originaire de l'Inde et du Sri Lanka, cette plante herbacée pérenne est cultivée pour ses fruits, utilisés comme épice en cuisine, en pâtisserie ou dans le café (pays arabes). Elle figure dans la pharmacopée de certains pays. La cardamome est vendue sous forme de fruit séché. Le Guatemala est le plus gros producteur, suivi de l'Inde. C'est l'épice la plus chère après le safran.

La plante peut atteindre 2 m de haut ; elle possède un rhizome, des feuilles longues et lancéolées, insérées sur des tiges foliaires ; les fleurs, en panicules, sont insérées sur des tiges dépourvues de feuilles. Les fruits sont des capsules à trois loges, déhiscentes, ovoïdes (1 cm de diamètre), contenant cinq à sept graines par loge. Ce sont elles qui contiennent les substances aromatiques. Il existe une forme sauvage de cardamome, moins aromatique que la forme cultivée.

La cardamome est cultivée dans les forêts des zones tropicales humides, jusqu'à 1 500 m au Sri Lanka. Elle exige une certaine altitude et de l'humidité (environ 3 000 mm d'eau par an). Elle a besoin d'un léger ombrage et ne produit pas de graines dans des zones à température trop élevée (moyenne annuelle au-dessus de 24°C). Elle se développe bien dans les sols lourds et riches en humus et supporte des terrains légèrement marécageux.

Elle se multiplie soit par graines, soit par fragments de rhizome. Les plants issus de graines produisent au bout de cinq ans, ceux issus de rhizomes au bout de trois ans. Les graines doivent être plantées le plus tôt possible (forte baisse du pouvoir germinatif au bout d'une semaine).

La plantation se fait dans des trous enrichis en matière organique en milieu forestier éclairci. Les trous sont distants de 1,5 à 2,5 m. Les plants doivent être sarclés régulièrement et paillés. La cardamome peut être atteinte par une mosaïque et les principaux parasites animaux sont les thrips. La récolte est faite manuellement avec des ciseaux, lorsque la couleur des capsules passe du vert au jaune (avant qu'elles ne soient déhiscentes). Les graines doivent être brun foncé ou noires.

Les fruits sont séchés au soleil ou dans des séchoirs à air chaud, ce qui les blanchit légèrement. Les pédoncules sont enlevés après le séchage. Les rendements les plus élevés sont atteints vers dix à quinze ans. Ils varient entre 200 et 1 200 kg/ha de capsules fraîches. Des travaux de sélection ont été entrepris en Inde ; les deux groupes de cultivars les plus répandus sont le groupe *Malabar* (petite cardamome) et le groupe *Mysore* (grande cardamome). La multiplication par culture de tissus *in vitro* est possible.

LE CURCUMA OU SAFRAN DES INDES

Curcuma domestica Val. - Syn.: *C. longa*

Anglais : turmeric

Espagnol : cúrcuma

Portugais : curcuma, acafrao-da-índia

Famille des Zingiberaceae

C'est une plante herbacée à rhizome qui ressemble au gingembre, mais dont la production est bien plus faible. Le rhizome de *C. domestica* est utilisé comme épice (dans les poudres de carry essentiellement), comme médicament et cosmétique. Le principal producteur est l'Inde, probablement pays d'origine de cette plante.

Les rhizomes sont ramifiés, de forme ellipsoïde à la base, portant des excroissances cylindriques plus ou moins incurvées pouvant atteindre 10 cm de long. Ils contiennent de la curcumine qui leur donne une couleur jaune orangé. Obtenue sous forme d'oléorésine puis isolée, la curcumine est un colorant alimentaire intéressant. Des huiles essentielles responsables de l'arôme sont également obtenues à partir des rhizomes.

La culture dure environ deux ans, ce qui explique que cette plante est souvent associée à d'autres. Le curcuma peut supporter un léger ombrage. La multiplication se fait par fragments de rhizome, plantés dans des trous peu profonds. Les distances entre plants sont de 0,15 à 0,30 m. Comme pour le gingembre, le sol doit être bien préparé, affiné et enrichi en matière organique. La plantation est faite à plat ou sur planches, selon le niveau d'humidité du sol. Le curcuma réagit bien à des apports fractionnés d'azote. En Inde, des essais ont montré l'effet bénéfique du paillage sur le rendement.

La récolte a lieu dix-huit à vingt et un mois après la plantation. Elle se fait en retournant le sol. Les rhizomes sont lavés à l'eau et séchés ; les doigts sont séparés du rhizome mère. Les rendements en culture pure varient de 22 à 52 t/ha (poids frais). Pour la commercialisation sous forme de poudre, les tubercules sont bouillis, puis séchés au soleil et broyés.

LE GINGEMBRE

Zingiber officinale

Anglais : ginger

Espagnol : gengibre

Portugais : gengibre

Famille des Zingiberaceae

Cette plante, qui regroupe 85 espèces, est cultivée pour son rhizome, utilisé comme épice. Le gingembre sert dans des préparations culinaires, des boissons, des confiseries et en pharmacie. L'origine géographique la plus probable du gingembre serait l'Inde. Il n'existe pas à l'état spontané.

C'est une plante herbacée vivace, à feuilles lancéolées, alternes, certaines tiges étant stériles et d'autres florifères. Le gingembre est une plante de climat tropical humide, qui supporte des températures moyennes annuelles de l'ordre de 22° C.

Il est cultivé comme une plante annuelle. Il ne se développe correctement que dans des sols pas trop lourds et sans éléments grossiers.

La multiplication se fait par éclats de rhizome portant au moins un œil. Le sol doit être labouré soigneusement, puis préparé en planches ou en billons (un apport de fumier au moment du labour est conseillé). Le paillage, pratiqué traditionnellement, est très bénéfique à la culture. Le gingembre réagit bien à des apports d'azote (doses optimales de 200 à 300 kg de N/ha, selon des essais réalisés en Australie).

La première récolte a lieu sept à dix mois après la plantation. Les rendements sont très variables : de 9 à 11 t/ha en Inde, 23 t/ha au Brésil, de 36 à 45 t/ha en Afrique du Sud, 95 t/ha en essais en Australie (en poids frais). Le gingembre frais se conserve deux à trois mois ; il peut être séché de différentes manières ou mis en conserve. Il perd 75 à 80 % de son poids au séchage.

LE GIROFLIER

Syzygium aromaticum (L.) Merrill & Perry - Syn. *Eugenia caryophyllus* - Syn. *Jambosa caryo-phyllus*

Anglais : clove tree

Espagnol : árbol del clavo

Portugais : cravinho, cravo-da-índia

Famille des *Myrtaceae*

● Les utilisations du giroflier

Originaire des Moluques (Indonésie), il est présent dans toutes les zones tropicales, en particulier en Indonésie, au Brésil, à Madagascar et en Tanzanie.

Le giroflier est cultivé pour ses boutons floraux qui, une fois séchés, donnent les clous utilisés comme épice (en cuisine et en pâtisserie) et pour aromatiser des cigarettes en Indonésie. L'essence est extraite par distillation des clous, des griffes ou des feuilles. Le composant principal de l'essence est l'eugénol et elle est utilisée dans les produits cosmétiques et pharmaceutiques (c'est un antiseptique efficace). L'essence extraite des clous est de meilleure qualité ; elle est utilisée par l'industrie agroalimentaire et par la parfumerie. L'eugénol sert également à préparer la vanilline artificielle.

Le principal acheteur de clous était jusqu'en 1986 l'Indonésie, pour la fabrication des cigarettes *kretek*. Depuis, la production de ce pays (50 000 à 60 000 t) a permis de couvrir ses besoins et également d'exporter. Les autres principaux producteurs sont, selon les données FAO de 1999, Madagascar (15 000 t), la Tanzanie (10 000 t), Sri Lanka (2 500 t) et les Comores (1 000 t). Le prix de vente des clous a considérablement chuté de 1982 à nos jours du fait du développement important de la production indonésienne.

● La plante

Le giroflier est un arbre à feuillage persistant, à silhouette élancée, de 12 à 15 m de haut. Les feuilles sont coriaces et d'un vert luisant, au limbe lancéolé de 8 à 12 cm de long. Les inflorescences sont des cymes terminales comportant vingt à quarante fleurs.

Les fleurs sont formées d'un calice tubulaire rose terminé par quatre sépales charnus, de quatre pétales blanc rosé, de nombreuses étamines et d'un ovaire à deux loges. Le *clou de girofle* est le bouton floral au début de son développement : calice rouge vif, corolle encore présente. Le fruit est une drupe violacée, ellipsoïde, qui comporte une seule graine d'environ 1,5 cm de long.

La plupart des variétés se trouvent en Indonésie ; il existe des variétés sauvages, moins riches en essences. Du fait de la localisation de la majeure partie de la production dans un seul pays et du faible prix des clous sur le marché mondial, peu de recherches sont en cours actuellement sur le giroflier. De nombreux travaux de recherche ont été menés à Madagascar entre 1960 et 1970 (sélection, greffage, multiplication végétative, modes de plantation, entretien, fertilisation, taille, distillation...).

Le giroflier se développe bien dans les zones relativement humides (1 800 à 2 000 mm par an), à saison sèche marquée (la saison sèche favorise la floraison), mais ne supporte pas les stress hydriques. Une courte saison sèche lui est donc favorable. Il demande une humidité de l'air voisine de 80 %. L'altitude maximale pour avoir une production correcte est 400 m. Le giroflier est très sensible au vent (bois fragile). Il demande la pleine lumière et un fort ensoleillement.

Son enracinement est superficiel. Il est peu exigeant en ce qui concerne les sols. Néanmoins, un pH supérieur à 5,5 est recommandé. Il ne craint que les sols sablonneux et les sols marécageux. Cependant, dans les régions à saison sèche marquée, afin de limiter les risques de stress hydrique, on choisira de préférence des sols à bonne capacité de rétention en eau.

● La culture

Le giroflier se multiplie par graine, en pépinière. Il se multiplie également par marcottage, mais la durée de production des plants est alors plus longue. La culture de tissus *in vitro* n'a pas encore donné de résultats.

Les graines doivent être semées rapidement car leur pouvoir germinatif disparaît en quelques semaines. La meilleure technique consiste à semer deux à trois graines dans un sac de polyéthylène. Les graines germent après environ cinq semaines. Les plants sont installés en terre au plus tôt au bout de neuf à douze mois, mais les plants sont alors encore sensibles aux intempéries ; il est recommandé de les laisser en pépinière dix-huit à vingt-quatre mois (taille de 50 à 70 cm).

Les trous de plantation peuvent être enrichis avec du fumier et de la matière organique à décomposition lente un mois avant la plantation. La distance entre les arbres en culture pure est de 4 à 5 m à Madagascar, 6 à 9 m en Tanzanie, 8 à 11 m en Indonésie. Sur les pentes aménagées, le giroflier peut être planté en haie, à des fins d'extraction de l'essence des feuilles. Les lignes seront alors espacées de 3 m, les arbres étant plantés à une distance de 0,75 m sur la ligne.

Un léger ombrage est nécessaire à la croissance des jeunes arbres et les jeunes plantations doivent être désherbées fréquemment. Une plantation adulte peut supporter une culture intercalaire ou une légumineuse de couverture comme *Centrosema pubescens* ; seuls les pieds de giroflier doivent rester dégagés. Le paillage peut également être pratiqué. À Madagascar, on rencontre des associations culturales avec le cacaoyer et le caféier ; à Zanzibar et aux Comores, le giroflier peut être cultivé sous cocotiers ou avec des bananiers ou du manioc.

Le giroflier supporte très mal la taille. À l'état adulte, il ne reçoit que rarement une fumure, sauf dans certaines plantations industrielles. En effet les cours des clous et de l'essence sont en général trop bas pour rentabiliser une application d'engrais.

Le giroflier est très peu sensible aux maladies. Une anthracnose, le *die back* (*Cryptosporella eugeniae*), attaque les branches : le feuillage flétrit en partant de la cime, les branches atteintes doivent être coupées et la section de coupe traitée avec un produit fongicide.

Le giroflier a été atteint par une maladie foudroyante à Zanzibar (*Sudden death*) qui ressemble fort à une maladie persistant en Indonésie actuellement, la *maladie de Sumatra*. Son origine est une bactérie : *Pseudomonas syzygii*. On peut injecter dans les vaisseaux du bois un antibiotique, l'oxytétracycline, afin de limiter les dégâts. Une autre maladie, due aux champignons *Phyllosticta syzygium* et *Guignardia hevea*, est fréquente en Indonésie. Parmi les maladies mineures, citons la lèpre (taches brunes sur les feuilles) due à une algue, des fumagines et la maladie des taches rouges (sur les feuilles) due à un champignon. Le giroflier peut être victime d'attaques d'insectes, mais c'est très rare. Une chenille, *Chrysotypus mabilianum*, a fait des dégâts importants à Madagascar (elle creuse des galeries dans le tronc et les branches).

● La récolte

Le giroflier commence à produire vers quatre ans ; les récoltes élevées sont obtenues à partir de vingt ans et l'arbre peut vivre cinquante à soixante-quinze ans. La production des feuilles pour la distillation est plus épuisante pour le sol que la récolte des clous.

Les clous doivent être récoltés à un stade très précis (calice rouge vif et présence des pétales) pour obtenir une qualité optimale : trois à quatre passages dans la plantation peuvent être nécessaires. La récolte est faite à l'aide d'échelles et il est très important de ne pas arracher les branches et rameaux pour ne pas compromettre les récoltes futures. Un ouvrier peut récolter 30 à 40 kg d'inflorescences par jour, soit 25 à 30 kg de clous frais par jour.

Les boutons floraux sont séparés manuellement des pédoncules (griffes) ; les clous frais sont séchés au soleil, sur une aire cimentée (sur des nattes en général). La dessiccation du clou est achevée lorsqu'il ne contient plus que 12 à 16 % d'eau.

Les rendements moyens sont de 6 à 16 kg/ha/an de clous frais. Un bon rendement est de l'ordre de 10 kg de clous secs par arbre et par an. Si les boutons floraux ne sont pas récoltés, les fruits sont murs trois mois plus tard. À une année de bonne récolte succèdent généralement deux à trois ans de récolte médiocre. Ce phénomène serait lié à des problèmes d'architecture des rameaux susceptibles de porter les inflorescences.

La récolte des clous est incompatible avec la récolte des feuilles pour la distillation. Pour récolter les feuilles, on coupe les extrémités de branches à 30 ou 40 cm de long. Un arbre donne 80 kg de jeunes feuilles et il faut attendre quatre ans avant de recouper à nouveau.

LA MUSCADE ET LE MACIS

Myristica fragans Houtt.

Anglais : nutmeg and mace

Espagnol : nuez muscada sy macis

Portugais : noz-moscada e macis

Famille des Myristicaceae

Le muscadier est cultivé pour sa graine, la noix de muscade, utilisée comme condiment. On utilise aussi à cet effet l'arille du fruit, appelé macis. La graine sert dans des préparations culinaires, comme ingrédient de liqueurs, et dans la parfumerie (extraction d'une huile essentielle contenant de la myristicine). On n'extrait pas d'huile essentielle du macis.

Originaire d'Indonésie (Moluques, Banda), le muscadier est cultivé actuellement dans de nombreux pays tropicaux et plus particulièrement en Asie du Sud-Est et à Grenade. L'Indonésie fournit 60 % de la production mondiale, Grenade 30 %. Cette production est en moyenne de 17 000 t de noix et 3 000 t de macis.

Le muscadier est un arbre à feuillage persistant, dioïque, de moins de 20 m de haut. Les feuilles sont coriaces, vert foncé, à face dorsale blanchâtre. Les fleurs, jaune pâle, sont individuelles ou groupées par trois. Les fruits sont ovoïdes, de 6 à 9 cm sur 5 à 8 cm, monospermes, charnus. La graine mesure 2 à 4 cm de long sur 2 cm de large ; elle est recouverte d'un tégument brun foncé luisant, lui-même recouvert par un arille charnu, de couleur rouge orangé (le macis).

Le muscadier apprécie les sols frais et bien drainés. Il nécessite une pluviométrie annuelle de 2 000 à 2 500 mm et un climat chaud. Il préfère la basse altitude. Les muscadiers sont toujours menés en culture pure. Ils peuvent être multipliés par marcottage ou par semis. Les arbres étant dioïques, la technique du marcottage permet de choisir le sexe du plant.

Les graines doivent être plantées dans les deux jours après la récolte. Elles germent en quatre à six semaines et les plants restent en moyenne six mois en pépinière. Ils doivent être protégés du soleil une fois au champ. L'arbre adulte tolère un léger ombrage.

L'entretien d'une plantation de muscadiers est très limité. Aucune taille n'est pratiquée. Les plantations peuvent être de type industriel (à Grenade en particulier). On conserve en général un taux de pieds mâles de l'ordre de 10 %.

Les premières floraisons ont lieu quatre à huit ans après la plantation et l'arbre peut vivre cinquante à cent ans. Les fruits peuvent être récoltés une fois tombés à terre (comme à Grenade) ou sur l'arbre. L'arille est séparé de la graine et séché au soleil ; les noix sont séchées à l'ombre ou au soleil. Le rendement d'un bon arbre peut être estimé entre 1 500 et 2 000 noix par an, ce qui représente 3,5 kg de noix et 450 g de macis.

LE POIVRIER

Piper nigrum

Anglais : pepper plant, black pepper

Espagnol : pimentero

Portugais : pimenta do reino

Famille des Piperaceae

● Les utilisations du poivrier

Le poivre est originaire d'Inde, dans l'état de Kerala dans les Ghates de l'Ouest, où on le rencontre à l'état sauvage en montagne. En Inde, il existe 75 cultivars de poivriers. Il est très cultivé en Inde du sud, de l'est et de l'ouest, Malaisie, Philippines et Brésil.

Le poivre noir et le poivre blanc sont les deux principales marchandises séchées issues du fruit. L'utilisation du produit séché comme épice était déjà connu dans la Rome classique. L'Europe était déjà importatrice de poivre au XII^e siècle. Il est utilisé dans l'alimentation comme condiment et pour la conservation des produits. Cet aspect est récemment apparu en Inde et au Sri Lanka et tend à se développer dans les pays producteurs de poivre. Huile de poivre et oléorésines de poivre sont extraites des graines. Les graines vertes et immatures ou fraîches sont également utilisées de manière secondaire dans l'alimentation humaine.

● La plante

C'est une espèce pérenne, ligneuse et grimpante, atteignant 10 m de hauteur. En conditions cultivées, les plantes adultes croissent sur des supports. Le système racinaire est composé de cinq à vingt racines principales qui peuvent atteindre 4 m de profondeur. Les racines nourricières sont dans les 60 premiers centimètres du sol et forment un tapis dense. Les tiges orthotropes grimpent et restent végétatives. Elles adhèrent au support avec de petites racines adventives qui se forment au niveau des nœuds. Les branches plagiotropes sont sans racine adventive, avec des entre-nœuds de 4 à 6 cm de long et de 1 à 1,5 cm de diamètre. Elles produisent d'autres branches et des inflorescences.

Les feuilles sont alternes, simples, glabres, coriaces et pétiolées de 8 à 20 cm de long et de 4 à 12 cm de large, entières et obliques à enroulées à leur base. Elles sont noir sombre sur le dessus et pâles et glanduleuses sur le dessous. L'inflorescence en épi apparaît opposée à la feuille sur les rameaux plagiotropes. Elle mesure de 3 à 15 cm de long et porte de cinquante à cent cinquante fleurs. À l'état sauvage, *P. nigrum* est dioïque et morphologiquement variable. Les cultivars sont par contre habituellement bisexués (plus de 90 % de fleurs bisexuées). Le parfum piquant caractéristique du poivre vient de la piperine. Le poivre noir en contient de 4,9 à 7,7 % et le poivre blanc de 5,6 à 5,9 %.

Des graines mûres séchées à l'ombre, sans mésocarpe, germent en deux à trois semaines. Mais la propagation pour la production commerciale se fait par bouturage. Le développement végétatif des plantes produites par bouturage s'effectue par la formation de plusieurs pieds orthotropes à partir des bourgeons axillaires.

Quand la croissance vigoureuse est stimulée, la croissance régulière des tiges orthotropes et le développement des branches plagiotropes entraînent la formation d'un grand nombre d'épis dès le début des pluies.

La floraison s'étend sur trois mois. La pollinisation est autogame : elle résulte du transfert de pollen entre les différentes fleurs d'un même individu. L'autopollinisation par le vent est rare. De fortes pluies, des orages et des journées de soleil réduisent la fécondation, alors que de légères pluies intermittentes favorisent la mise en place du fruit.

Après la fécondation, l'ovaire se transforme en fruit pendant huit à neuf mois. Le développement du fruit est accéléré par des pluies régulières bien distribuées et la présence des minéraux K et Mg. Un plant de poivre peut produire de façon abondante pendant trente ans. Si on utilise la reproduction par stolons, les épis mettent deux ans de plus à se former car l'apparition de rameaux latéraux sur les rameaux orthotropes est retardée.

Le climat le plus approprié pour le poivre est un climat tropical humide avec des précipitations annuelles de 2 000 mm à 4 000 mm bien distribuées sur l'année, associées à des températures moyennes de 25 à 30°C et une humidité relative comprise entre 65 % et 95 %. Une période de deux ou trois mois plus sèche (précipitations de 60 à 80 mm) n'est pas nuisible. La plante se développe à des altitudes inférieures à 500 m au niveau de l'équateur mais peut être cultivée à plus de 1500 mètres. Le sol le plus favorable est un sol profond, bien drainé ; toutefois, la plante se développe sur de nombreux types de sols.

● **La culture**

● **La plantation et l'entretien**

La plupart des cultivars sont propagés par bouturage. En début de saison sèche, des tronçons de tige de 5 à 7 cm de long sont prélevés sur des rameaux orthotropes de plantes vigoureuses de douze à trente mois. Les boutures sont installées en pépinière, à l'ombre et dans un sol maintenu humide pour développer des racines. De nombreuses racines apparaissent après deux mois. Des boutures de taille plus importante (50 cm) peuvent aussi être plantées directement dans un champ. Bien que s'enracinant plus facilement, les stolons fructifient plus tardivement (trois ans après la plantation).

Avant de planter, le terrain est nettoyé, labouré et biné. Des poteaux en bois durs de 3,60 m servant de support sont placés à des écartements de 2 à 4 m x 2 à 4 m. Dans des sols pauvres, la couche superficielle est ramenée sur le pied des supports. Dans les sols riches, les plantations se font directement dans le sol ameubli. Dans de nombreux pays, le poivrier est planté comme culture intercalaire dans des plantations de cocotiers et de caféiers.

L'entretien de la culture consiste, dans les champs intensifs non ombragés de poivre, à désherber, faire les buttes, écimer les pousses, tailler pour obtenir une forme régulière et contrôler les maladies et amendements. Les buttes sont maintenues pour fournir un volume de développement du réseau racinaire. Pendant la période de croissance rapide, les tiges sont attachées aux poteaux, selon un rythme hebdomadaire. La taille permet de maximiser la production de rameaux fructifians.

Habituellement trois tiges sont laissées pour grimper sur le poteau. Après trois mois, les plantes mesurent 2,5 m ; elles ont une apparence buissonnante avec un nombre maximum de branches principales et une canopée dense. Les plantes sont alors considérées comme ayant atteint leur taille adulte et fleurissent avec le début des pluies. Pour achever l'aspect buissonnant, les pousses sont autorisées à grimper librement en haut des poteaux; les tiges sont alors ramenées vers le bas et enroulées autour du poteau et les nœuds supérieurs sont attachés au support.

● Les maladies

La maladie destructive la plus importante des cultivars de Malaisie et d'Indonésie est la pourriture des racines causée par un champignon (*Phytophthora palmivora*); qui se développe dans des conditions chaudes et humides. La maladie infecte les feuilles et les racines, les tiges en dessous du sol et le collet des racines. Elle se déclare après les pluies. Les feuilles situées sur le bas de la plante sont infectées par les éclaboussures, ce qui entraîne la formation de taches de nécrose noires, avec des bords frangés caractéristiques. Avant l'infection de la tige, les feuilles infectées tombent sur le sol, contribuant ainsi à la création d'un inoculum sur le sol. Les plantes infectées meurent après quelques semaines. Il n'y a pas de mesure de contrôle adaptée aux petits producteurs actuellement, mais l'on conseille d'éliminer rapidement les feuilles infectées. On recherche actuellement une variété résistante.

En Asie du Sud-Est, la *jaunisse* constitue la seconde maladie importante. Ses symptômes comprennent un flétrissement lent, associé au jaunissement et à la chute des feuilles. Les troubles sont identifiés comme la combinaison d'un manque de minéraux et l'invasion racinaire par des nématodes *Radopholus*. Le déclin de la plante peut être empêché par un apport de minéraux, par chaulage et paillage.

● La durée de vie et le rendement

Dans des conditions optimales pour des plantes commerciales et sans maladies, les poivriers non ombragés ont une durée de vie de quinze à vingt ans sur le plan économique. Cette durée est réduite à six ou dix ans en cas de mauvais entretien. La production moyenne annuelle de fruits frais par plante varie de 2 à 18 kg à Sarawak et de 0,5 à 8 kg à Bangka et à Kalimantan. Pour les plantes ombragées comme au Lampung, en Indonésie et aux Philippines, la durée de vie peut excéder trente ans, sur des sols fertiles, en l'absence de maladies importantes et en donnant un minimum d'attention. La production annuelle de fruits frais est alors de 4 à 20 kg par plante.

● La récolte et la préparation

En Asie du Sud-Est, la récolte s'étale d'avril-juin à août-septembre et coïncide avec le début de la saison sèche (temps sec et ensoleillé).

● Le poivre noir

Pour préparer du poivre noir, les grappes de fruits sont ramassées entières quand le fruit a atteint sa taille normale et sa maturité, mais est encore vert jaune. Les grappes sont laissées en tas pendant une nuit pour une brève fermentation.

Le matin suivant, les grappes sont étalées sur des nattes de bambous ou sur le sol et régulièrement retournées pour sécher au soleil. Les fruits se séparent du rachis pendant le ratissage. Après quatre à cinq jours, les graines de poivre sont sèches, noires, et montrent leur apparence caractéristique ridée.

● Le poivre blanc

Pour préparer du poivre blanc, les grappes sont ramassées quand les fruits sont devenus rouges ou jaunes. Les grappes de fruits sont ramassées à la main, à l'aide d'un escabeau. La récolte a lieu toutes les deux semaines soit six à huit fois pendant la saison. Les fruits fraîchement cueillis sont généralement traités chez l'exploitant.

Les graines sont légèrement écrasées, mises dans un sac de toile et immergées pendant sept à dix jours, de préférence dans une eau légèrement courante. Puis les graines sont écrasées, détachées de la grappe, séparées par lavage et tamisées. Les graines lavées sont séchées au soleil pendant trois à quatre jours, au cours desquels la couleur blanc-crème se développe. Les graines séchées contiennent alors de 10 à 14 % d'humidité. Elles sont mises en sachet et stockées. Le rapport de poids entre graines de poivre blanc et fruit frais est de 26 %. Pour le poivre noir, ce rapport est de 33 %.

● La production actuelle et les perspectives

La proportion de poivre blanc produit dépend du différentiel de prix existant entre le poivre noir et le poivre blanc. Il n'existe pas de statistiques distinctes pour le poivre blanc et le poivre noir. La consommation de poivre est à 80 % concentrée dans les pays industrialisés. Entre 1985 et 2000, la production annuelle mondiale fluctuait entre 140 000 et 280 000 t, avec des pics de production en 1990 et 2000. En 2000, la surface plantée était de 392 000 ha et la production de 280 000 t.

Tableau 1. Les principaux pays producteurs de poivre en 2000 (données FAO)

Pays	Surface (ha)	Production (tonnes)
Inde	192 000	58 000
Indonésie	80 000	65 000
Vietnam	28 000	39 000
Sri Lanka	27 000	17 000
Brésil	16 000	38 000
Chine	13 000	18 000
Malaisie	12 000	21 000

Entre 1988 et 1993, les exportations ont varié de 172 000 à 242 000 t/an. Les principaux pays exportateurs sont Singapour, l'Indonésie, le Vietnam, le Brésil, l'Inde et la Malaisie. Singapour sert principalement d'entrepôt pour l'Asie du Sud-Est. Les importateurs principaux sont les Etats-Unis, l'Union européenne et le Japon.

La demande mondiale en poivre est très peu élastique, mais elle tend à augmenter d'environ 4 à 5 % par an. La production de poivre offre donc des perspectives attractives et représente une source de revenus intéressants pour les petits producteurs. Cependant, suite aux dégâts causés par la pourriture (*Phytophthora*), les agriculteurs dont les sols sont infectés cessent cette production.

LE VANILLIER

Vanilla Fragans (Salisb) Ames - Syn. : *Vanilla planifolia* H.C. Andrews.

Anglais : vanilla

Espagnol : vanilla

Portugais : baunilha

Famille des Orchidaceae

● Les utilisations du vanillier

C'est une liane pérenne, cultivée pour ses fruits (gousses), qui font l'objet d'une préparation afin de favoriser la formation de l'arôme, dû à la présence de vanilline. La vanille est utilisée en pâtisserie, confiserie et pour aromatiser certaines préparations culinaires. Elle est parfois remplacée par la vanilline de synthèse, moins coûteuse.

Le vanillier se trouve à l'état spontané en Amérique centrale, dans le sud du Mexique et dans quelques îles des Antilles. La production mondiale a été, en 2000, de 5 290 tonnes. Les principaux producteurs sont l'Indonésie (2 100 t), Madagascar (1 810 t), la Chine (650 t), le Mexique (250 t) et les Comores (140 t). Les deux tiers de la production sont achetés par les Etats-Unis.

● La plante

Il existe trois espèces cultivées de vanille :

- > *Vanilla fragrans* appelée *vanille Bourbon*, la plus cultivée ;
- > *V. tahitensis*, moins riche en vanilline, à gousse non déhiscente à maturité, plus fragile que *V. fragrans* ;
- > *V. pompona* ou *vanillon*, cultivée aux Antilles, moins riche en vanilline que la vanille Bourbon ; les gousses sont plus courtes que celles de *V. fragrans*.

Les espèces sauvages sont très nombreuses (une centaine identifiée). Une collection de cultivars existe au Costa Rica (CATIE).

La tige est succulente, cylindrique, charnue, vert foncé ; elle peut grimper jusqu'à 15m de haut. Les feuilles sont alternes, coriaces, brièvement pétiolées. Des racines adventives aériennes, opposées aux feuilles, servent de crampons et sont capables d'absorber l'eau. Les racines souterraines sont superficielles.

L'inflorescence prend naissance à l'aisselle d'une feuille. Les fleurs sont insérées en épi à l'aspect d'une grappe. Elles sont constituées de trois sépales lancéolés et de trois pétales dont deux ressemblent aux sépales ; le troisième, le labelle, est un cornet dont les bords sont soudés. Elles comportent une seule étamine, le filet d'anthère étant soudé au style. L'ovaire, infère, forme un faux pédoncule floral et commence son développement avant la fécondation. Hors de la zone d'origine du vanillier, la fécondation ne se fait pas naturellement ; elle doit être réalisée manuellement. Au Mexique, les fleurs peuvent être fécondées par une petite abeille locale ou par des oiseaux mouches. Les fleurs de *V. fragrans* sont verdâtres, celles de *V. pompona* sont jaunes, plus grandes que celles de *V. fragrans*. La floraison est échelonnée.

Le fruit est une capsule trigone, déhiscente, longue et étroite, dont la taille varie suivant les variétés : 21 cm de long sur 4 cm de large pour *V. fragrans* et 13 cm de long sur 4 cm de large pour *V. pompona*. Les graines sont très nombreuses, noires, de 0,3 mm de diamètre. La graine ne peut germer que si un champignon microscopique est présent, car il pénètre dans la graine et provoque le développement de l'embryon.

Le vanillier se développe bien dans les régions tropicales humides, avec une saison sèche marquée qui favorise la floraison. La température annuelle moyenne doit être comprise entre 26 et 30°C. Le vanillier pousse jusqu'à 700 m d'altitude et demande un sol léger et bien drainé. En conditions sèches, l'irrigation peut être envisagée.

● La culture

La durée de vie d'une vanilleraie est environ de dix ans, le maximum de vigueur étant atteint la cinquième année. La liane ne produit que la troisième année après la plantation. La croissance du vanillier est optimale avec un léger ombrage. Il est le plus souvent cultivé en culture pure, sauf à la Réunion (associé à la canne à sucre) et aux Comores (système agroforestier sous cocotier).

● Plantation et entretien

Le vanillier se multiplie par plantation de boutures de tige, de 1,5 à 2 m de long. Il est préférable de prélever les boutures en fin de saison sèche. Les feuilles des quatre à cinq nœuds inférieurs sont enlevées et la bouture est entreposée deux à trois semaines à l'ombre, roulée en couronne. La bouture est plantée dans un sillon de 10 cm de large, de 40 cm de long, à faible profondeur (4,5 à 10 cm), au début de la saison des pluies. Les distances entre lianes recommandées à Madagascar sont de 2 m sur 3 m.

Le vanillier nécessite un tuteur, mort ou vivant ; il s'agit le plus souvent d'un tuteur vivant. Les plus fréquemment employés sont *Jatropha curcas*, *Gliricidia maculata*, *Casuarina* sp., *Pandanus utilis* et le caféier en Indonésie. *Jatropha curcas* peut être planté en même temps que la liane. L'ombrage peut être fourni par le tuteur ou par des arbres d'ombrage : cocotiers, fruitiers...

Le système racinaire du vanillier étant superficiel, il est conseillé de pailler dès la plantation le pied de chaque liane, afin d'optimiser l'alimentation en eau de celle-ci, sauf dans certaines conditions particulières d'humidité. L'apport de matière organique est également très bénéfique. Il est recommandé d'utiliser en partie des légumineuses (*Pueraria phaseolides* par exemple). Dans le meilleur des cas, les boutures sont enracinées deux semaines après la plantation.

La croissance du vanillier est de 0,60 à 1,20 m par mois environ. La plantation doit être nettoyée régulièrement, l'herbe pouvant être utilisée, après séchage sur place, pour pailler les pieds des lianes. Six à huit mois avant la floraison, il est bénéfique pour celle-ci de pincer (couper) l'extrémité des rameaux à 10 ou 15 cm. La technique du bouclage favorise aussi la floraison : il s'agit de faire retomber les rameaux au niveau du sol, le mouvement de sève induit semblant à l'origine d'un plus grand nombre de fleurs. En milieu trop humide, il faut éviter de mettre la liane retombante au contact du sol en raison des risques de pourriture.

En milieu modérément humide, la partie retombante peut toucher le sol, ce qui provoquera la formation de nouvelles racines et améliorera donc l'alimentation de la liane. Les lianes abîmées peuvent être marcottées (on enterre un tronçon de 25 à 30 cm de liane après en avoir coupé les feuilles) : c'est le provignage.

Le vanillier réagit très bien à des apports de matière organique, qui peuvent venir du paillage. La question de la fumure minérale est controversée : des essais à Madagascar ont montré l'intérêt d'un apport de sulfate d'ammoniaque, à partir de la troisième année de plantation, pendant quatre ans ; à la Réunion, les plants ne reçoivent pas d'engrais chimiques.

La fécondation doit être réalisée par la main de l'homme. Il est recommandé de ne pas fertiliser toutes les fleurs, mais seulement celles qui se trouvent à la base du balai (épi), afin de ne pas affaiblir la liane. Il est nécessaire de polliniser davantage de fleurs que ce qu'on espère obtenir de gousses, ce qui permet d'effectuer une sélection (on cherche à récolter des gousses non recourbées). À Madagascar, on laisse huit gousses par balai pour obtenir de la vanille de premier choix. Une liane de quatre à cinq ans ne doit pas porter plus de cent à cent cinquante fleurs.

● Les maladies

La principale maladie est une pourriture des racines et du collet (Vanilla root-rot), causée par *Fusarium oxysporum f-vanillae* et *Phytophthora* sp., qui résiste aux traitements fongicides. La seule espèce résistante identifiée est *V. phoantha* Rochb.f. Des recherches ont été entreprises à Madagascar pour créer des variétés résistantes par hybridation avec *V. phoantha*, *V. tahitensis* et *V. pompona*. Elles n'ont pas abouti et ont été arrêtées en 1974. De nouvelles perspectives d'amélioration apparaissent avec le développement des biotechnologies.

Le mildiou (*Phytophthora* sp) peut attaquer toutes les parties de la plante ; son développement est favorisé par une forte humidité. Il n'y a pas de moyen de lutte. Les plants arrachés doivent être brûlés. Une anthracnose (*Glomerella vanillae*) attaque les parties aériennes ; elle apparaît dans les plantations trop ombragées et humides. Le vanillier ne fait pas l'objet d'attaques d'insectes sérieuses à ce jour.

● La récolte et la préparation

La récolte a lieu lorsque l'extrémité libre des gousses, vert brillant, jaunit légèrement ; la maturité se traduit aussi par un aspect plus mat et l'apparition de très fines stries. Elle a lieu environ sept à neuf mois après la fécondation. Il faut éviter la cueillette par temps de pluie. Les gousses ne doivent pas être déhiscentes. La période de récolte dure deux à trois mois.

Les lianes sont taillées après la récolte, afin de favoriser le développement de nouveaux arçons et d'obtenir une touffe trapue. Il faut 20 000 à 25 000 lianes pour produire une tonne de vanille marchande, soit 4 à 5 ha de culture pure. Un kilogramme de vanille verte contient 80 gousses ; un kilogramme de vanille préparée contient 300 gousses.

La préparation a pour objectif le développement de l'arôme et la conservation du produit. Les différentes étapes sont les suivantes :

- > tri pour sélectionner les gousses de même longueur ;
- > échaudage à 63°C pendant 3 mn ;
- > étuvage pendant 24 heures : les gousses chaudes sont placées dans des caisses en bois protégées par des couvertures de laine ;
- > exposition au soleil sur couverture quatre à dix jours ;
- > dessiccation à l'ombre sur claie deux à trois mois ;
- > triage (calibrage) ;
- > mise en malle pendant plusieurs mois (jusqu'à six mois), pour le développement de l'arôme ;
- > triage final.

À la Réunion et à Madagascar, le séchage en fours à air chaud remplace parfois le séchage solaire. Les différentes qualités de vanille en gousses sont définies de façon très précise (norme AFNOR V. 32-085). Un conditionnement particulier a été développé pour le marché des Etats-Unis : il s'agit de la préparation de la vanille en tronçons de 2 à 3 cm (*cuts*), qui seront broyés à l'arrivée pour l'extraction des arômes. La durée de cette préparation est de quarante jours (dix jours de séchage, trente jours d'affinage).

Bibliographie générale sur les plantes à épices

- ANON, 1971, *Les plantes à épices* in Agronomie Tropicale. Série 1 : Riz, riziculture et cultures vivrières tropicales (FRA), 1971/01. - vol. 26, n. 1, pp. 151-155.
- BÄRTELS A., 1993, *Guide des plantes tropicales : plantes ornementales, plantes utiles, fruits exotiques*; 3ème édition revue et corrigée, EUGEN - ULMER
- BORGET M., 1991, *Les plantes tropicales à épices*, ACCT, CTA, Le technicien d'agriculture tropicale, Paris ACCT - Maisonneuve & Larose, 182 p.
- DE GUZMAN C.C., SIEMONSMA J.S., 1999, PROSEA - *Plant Resources of South-East Asia - Spices*, Leiden, BACKHUYS Publishers Volume 13, 400 p.
- MAISTRE J., 1964, *Les plantes à épices*, Techniques agricoles et productions tropicales (FRA), Paris (FRA) : Maisonneuve & Larose, 1964. - n. 3, 289 p.
- PURSEGLOVE J.W., BROWN E.G., GREEN C.L., ROBBINS S.R.J., 1981, *Spices. vol. I: History of spices. Pepper. Cinnamon and cassia. Nutmeg and mace. Clove. Pimento. Chillie Capsicum sp. bibl. vol. II: Ginger. Turmeric. Cardamon. Vanilla. Coriander* - I H, Tropical Agriculture, London (GBR) : Longman, 1981. 2 vol., 813 p.
- REHM S.; ESPIG G., 1991, *The cultivated plants of the Tropics and Subtropics*, Weikersheim, Verlag Joseph Margraf, 552 p., CTA.

Bibliographie sur des espèces spécifiques

Le cardamome

ANON, 1988, *Bibliographie sur la Cardamome* (Elettaria cardamomum), Montpellier (FRA) : CIRAD-IrAT, 1988/06. - 36 p.

THANKAMMA L.; RADHAKRISHNA, PILLAI P.N., 1973, *Pourriture des fruits et des feuilles de cardamome en Inde*, in Bulletin Phytosanitaire de la FAO (ITA) 1973. - vol. 21, n. 4, p. 82-83.

Le curcuma

ANON, 1988, *Bibliographie sur le Curcuma* (Curcuma sp.), Nogent-sur-Marne (FRA) : CIRAD-IrAT, 1988/11. - 58 p.

Le gingembre

ARENE O.B., ORKWOR G.C., OKWUOWULU P.A., 1987, *Ginger research in Nigeria* in Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. 3; 1986/08/17-23. ; Owerri (NGA), Ottawa (CAN) : CRDI, 1987. - pp. 89-93.

GUNATHILAKE H.A.J., 1990, *Ginger and turmeric cultivation in coconut lands* in Coconut Bulletin (LKA), 1990. - vol. 7, n. 1-2, pp. 13-18.

PELLERIN P., 1994, *Le gingembre : production et analyse* in Parfums, cosmétiques, arômes (FRA), 1994. n. 117, pp. 70-73.

Le giroflier

GOUAUT H., 1974, *Bilan des travaux sur giroflier. Station de l'Ivoina*, (MDG) : CENRADERU, 1974. - 17 p.

MARTI P., 1992, *Le giroflier*, Paris (FRA) : BDPA SCETAGRI, 1992. - 17 p. in BDPA SCETAGRI - Fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage de l'enseignement agricole d'Afrique subsaharienne

Le poivrier

PROSEA, PLANT RESOURCES OF SOUTH EAST ASIA, 13, *Spices*, Wageningen Agriculture University, Backhys Publishers, Leiden, 1999, 400 p.

Le vanillier

DEMARNE F., LEBLE A., 1983, *Multiplication des vanilliers par cultures de bourgeon in vitro*, Saint-Denis (REU) : GERDAT-IrAT, 1983. - 8 p. - Fiche d'essai n. 4.

LARCHER J., 1989, *Importance de la date de récolte sur la teneur en vanilline des gousses de Vanilla tahitensis J.W. Moore en Polynésie Française*, in Agronomie tropicale (FRA), 1989 vol.44, n. 2, pp. 143-146.

MARTI P., 1992, *Le vanillier*, Paris (FRA) : BDPA SCETAGRI, 1992. - 19 p. in BDPA SCETAGRI - Fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage de l'enseignement agricole d'Afrique subsaharienne

REY S., CARBONEL F., VAN DOORN, 1980, *Vanille : composition aromatique de différentes espèces* (Vanilla planifolia (Andrews), Vanilla tahitensis (Moore), Vanilla pompona (Schiede) in Annales des falsifications de l'expertise chimique et toxicologique (FRA), 1980. - vol. 73, n. 788, pp. 420-431.

Les cultures sucrières

À partir des contributions de E. Hainzelin (CIRAD)
et C. Hekimian Lethève

- > La canne à sucre
- > Le palmier à sucre

LA CANNE À SUCRE

Saccharum spp.

Anglais : sugarcane ou sugar cane

Espagnol : caña de azúcar

Portugais : cana de açúcar

● **Les utilisations de la canne à sucre**

La canne à sucre est avant tout cultivée pour le sucre contenu dans ses tiges, mais plusieurs autres produits sont valorisables.

Le sucre tiré de la canne est cristallisable : il s'agit du saccharose. Bien que de nombreuses espèces contiennent du saccharose, la canne à sucre est, avec la betterave, la principale plante saccharifère. Le sucre n'est pas indispensable sur le plan nutritionnel à l'alimentation humaine mais, de tout temps, sa saveur l'a rendu attrayant : le miel ou différents sirops végétaux en ont constitué pendant longtemps la seule forme de consommation, alors que le sucre cristallisé était un condiment rare. Depuis 200 ans, la consommation de sucre a explosé, en particulier dans les pays développés, ce qui en fait aujourd'hui un produit alimentaire de première nécessité.

La canne à sucre permet également la fabrication de diverses boissons dont le rhum, qui, dès le XVI^e siècle, apparaît comme un des sous-produits normaux des sucreries. L'alcool carburant est également un produit de la canne. D'autres produits, comme la mélasse (utilisé comme aliment du bétail) ou la bagasse (fournissant, au minimum, l'énergie de la sucrerie), sont de véritables co-produits de la transformation du sucre.

Divers sous-produits de sucreries de moindre importance peuvent être mentionnés : les cires (cosmétique), les cendres de chaudières, les écumes de défécation des jus (fumure) ou les bouts blancs (fourrage). Enfin, il faut mentionner les usages de bouche ou de jus frais, observables dans toutes les régions cannières.

● La plante et son environnement

● La plante

● L'origine et les aires de culture

La canne à sucre correspond en fait à plusieurs espèces sucrées du genre *Saccharum* : *S. officinarum*, *S. sinense*, *S. barberi*. Elle est originaire de Nouvelle Guinée où elle a probablement été domestiquée il y a 10 000 ans. De là, ce *roseau sucré* a diffusé dans le Pacifique et en Asie. Certains peuples, comme les Indiens, les Perses puis les Arabes ont développé les premières technologies sucrières.

Jusqu'au xv^e siècle, la culture s'est développée au Moyen-Orient et sur le pourtour méditerranéen, dans l'optique d'exporter sur l'Europe ce qui n'était alors qu'une épice. La conquête de nouveaux horizons, en particulier les *Iles à sucre* des Antilles ou de l'Océan Indien et le Nord-Est du Brésil, entraîna un fort accroissement de la production.

L'espèce *S. barberi* fut la plus largement cultivée jusqu'au xviii^e siècle, époque où elle a été remplacée par *S. officinarum*, la canne *noble* en provenance de Tahiti, plus riche en sucre. La maîtrise des croisements contrôlés en 1880 permit la création d'hybrides interspécifiques entre *S. officinarum* et d'autres espèces apparentées, en particulier *S. robustum* et *S. spontaneum*. L'explosion de la culture au début du siècle provient de ces hybrides modernes qui représentent aujourd'hui la totalité des cannes cultivées, mais également de la *continentalisation* de la culture et du passage d'une transformation artisanale à une véritable industrie sucrière.

Climatiquement, la canne est limitée seulement par le gel : on peut la cultiver dans toutes les régions tropicales ou subtropicales (entre 30° Sud et 37° Nord) de basse ou de moyenne altitude où la ressource en eau est suffisante. Son aire de culture dépend en fait des avantages techniques et économiques comparatifs : disponibilité du foncier, mécanisation, coût de la main-d'œuvre, efficacité agronomique et industrielle, protection du marché...

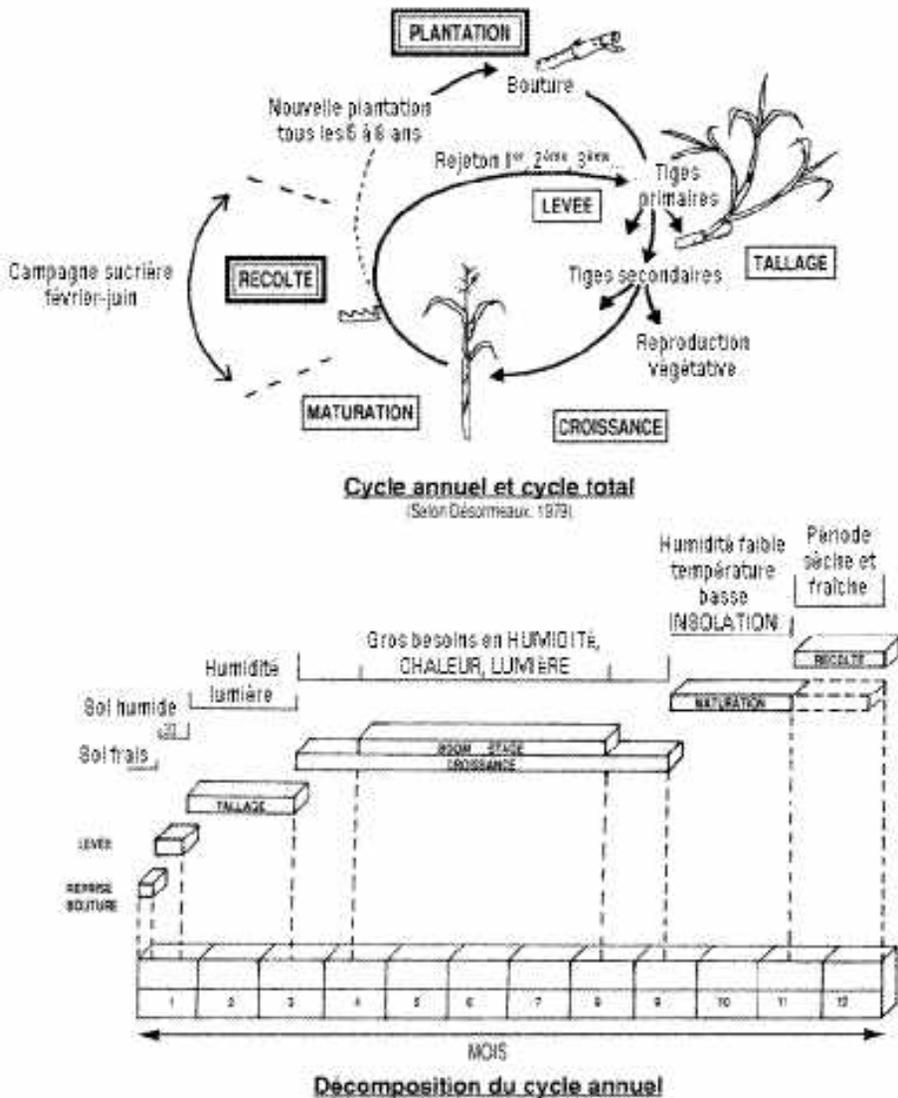
● Les caractéristiques morphologiques

La canne est une graminée vivace dont les tiges ou talles, groupées en touffes dressées, contiennent à maturité entre 10 et 18 % de saccharose et entre 10 et 15 % de fibres et représentent la partie exploitée. Les tiges cylindriques, de deux à quatre cm de diamètre, ne sont pas ramifiées et peuvent atteindre plus de quatre mètres de hauteur. Elles sont composées d'une succession de vingt à trente nœuds et entre-nœuds de longueur, de forme et de couleur variables. Au niveau de chaque nœud, se trouvent le bourgeon (ou œil), la couronne de *primordia racinaires*, la cicatrice foliaire et l'anneau de croissance. La tige est glabre et recouverte sur sa majeure partie d'un enduit cireux. Sous son écorce dure, se trouve la moelle, lieu de stockage du saccharose à maturité.

Les feuilles, longues et étroites, sont rattachées à la tige de façon alternée et opposée par une gaine plus ou moins poilue. Sous certaines conditions de photopériode, le bourgeon terminal passe du stade végétatif au stade reproducteur et forme une panicule pyramidale (*la flèche*), très ramifiée et composée de nombreux épillets à une fleur. La fructification est relativement rare.

Ces caractéristiques morphologiques sont autant de descripteurs variétaux. La canne est particulièrement résistante aux cyclones qui affectent la zone intertropicale.

Les racines sont de deux types : celles provenant de la couronne radiculaire de la bouture (racines de boutures), minces et superficielles, qui assurent l'alimentation de la jeune plante pendant trois mois environ et celles émises par les talles, qui peuvent coloniser profondément le sol. Ce système racinaire, dont le développement conditionne celui du couvert aérien, est renouvelé en totalité après chaque coupe. L'enrichissement en matière organique du sol à chaque cycle est donc tout à fait significatif.



► Figure 1 : les cycles de la canne à sucre

● Le cycle de culture

De la plantation à la récolte, le cycle comporte les étapes suivantes :

- > germination des boutures (levée) ;
- > tallage, c'est-à-dire formation de la touffe de tiges par germination des bourgeons axillaires ;
- > croissance (initiation des feuilles, élongation des entre-nœuds, croissance des racines) ;
- > éventuellement floraison ;
- > maturation avec arrêt de la croissance et accumulation de saccharose dans les tiges.

Entre la plantation des boutures et la première récolte ou *coupe*, il peut s'écouler de dix à vingt-quatre mois : on parle de *canne vierge*. Après la coupe, les yeux souterrains de la souche donnent de nouvelles tiges et un nouveau couvert, la repousse. La durée entre deux coupes est généralement de douze mois mais peut varier en fonction du climat, de la courbe de richesse des variétés, des exigences de l'usine ou même de la décision de reporter la récolte d'un an. Au delà de douze mois, dans les milieux autorisant une croissance continue, la biomasse obtenue et l'enchevêtrement des cannes peuvent rendre la récolte difficile.

Le nombre de repousses successives dépend du lieu, de l'état cultural, de la fumure, du parasitisme et des variétés. En exploitation industrielle, la canne est donc une culture pluriannuelle dont le cycle total dure de quatre à plus de dix années. La décision de replanter est essentiellement basée sur le suivi des rendements qui décroissent avec les années.

Le choix du cycle de culture est particulièrement important dans le cas de la canne à sucre car il permet *d'équilibrer la culture*, c'est-à-dire de retrouver chaque année les mêmes charges de travail (plantation, entretien et récolte). Ce choix dépend principalement du climat mais également du sol et des options techniques retenues, dont la durée de la campagne de coupe. L'approvisionnement de l'usine de transformation doit être régulier et étalé sur la plus longue période possible, lorsque les cannes présentent une teneur en sucre élevée. Pour cela, on peut jouer sur le statut variétal, un programme de replantation tirant le meilleur parti des contraintes climatiques et, lorsque c'est possible, une gestion adaptée de l'irrigation et l'utilisation de matura-teurs.

Pour un cycle tropical pluvial classique à une saison des pluies, la récolte ou *campagne* a toujours lieu pendant la saison sèche et fraîche et se termine à la reprise des pluies. Les replantations peuvent alors se faire soit dès le début des pluies pour des cannes qui seront récoltées en vierge à moins de douze mois en fin de campagne de l'année suivante (cannes dites de printemps ou de *petite culture*), soit au cours ou en fin de saison des pluies, en intercampagne, pour des cannes qui seront récoltées à seize ou dix-huit mois au début de la campagne suivante (cannes dites d'automne ou de *grande culture*).

Dans le premier cas, il y aura autant de coupes que d'années de cycle. Dans le second cas, la vierge et les repousses seront récoltées en début de campagne et il y aura une coupe de moins que d'années dans le cycle. Un choix variétal raisonné, en fonction de ces cycles de culture, permet d'optimiser les richesses tout au long de la campagne.

En culture irriguée, on adopte, en général, le cycle le plus intensif, avec une coupe par an, afin de mieux rentabiliser la culture. L'irrigation permet de planter pendant la saison sèche, d'accélérer la croissance et de mieux maîtriser la maturation.

● **Les modes de reproduction**

La reproduction de la canne se fait principalement par boutures mais la reproduction par graines est possible, ce qui permet l'amélioration variétale par croisement. Le développement de la culture au siècle dernier, basé sur une seule variété de canne noble (*S. officinarum*), a entraîné de fortes attaques de maladies et de parasites. La maîtrise de l'hybridation en 1880 a permis de récupérer dans *S. robustum*, *S. spontaneum* et *S. barberi* des gènes de rusticité, d'adaptation, de rendement et de tenue en repousses, et de créer des variétés modernes plus productives.

La mise au point d'une nouvelle variété comprend deux phases :

- > la création *sensu stricto* avec l'hybridation entre deux géniteurs en serre contrôlée sous des lanternes de gaze suivie de la récolte, du séchage et du traitement des graines ou *fuzz* ;
- > la sélection qui va s'appliquer sur les génotypes du stade *seedling* (plantules issues des *fuzz* et repiquées) jusqu'aux stades ultimes et qui suppose des dispositifs à répétitions, de préférence multilocaux, un suivi en repousses et des confrontations à des témoins.

Les critères généraux de sélection sont la vigueur végétative, liée au rendement, la richesse en sucre et la résistance aux maladies et aux parasites. Les sélectionneurs utilisent également des critères plus spécifiques, liés aux conditions de culture pour lesquelles ils travaillent : le cycle, le diamètre des tiges, l'effeuillage, l'aptitude à la récolte mécanique et à l'usinage, etc.

Ce processus est long : il faut de neuf à quinze ans pour passer de quelques centaines de milliers de génotypes (les graines), à une ou deux variétés élites. Il suppose la disposition d'une collection de travail, parfois d'équipements de photopériode pour provoquer la floraison, de dispositifs fiables d'inoculation de maladies, etc.

De très nombreux organismes créent des variétés de canne à sucre. Les variétés sont baptisées conventionnellement avec un préfixe d'une ou deux lettres indiquant le nom de la station d'hybridation et d'un numéro d'ordre comprenant parfois l'année de création (*FR80-1043*). Lorsque deux stations sont impliquées dans la création (hybridation dans un lieu et sélection dans un autre), les deux sigles apparaissent (*NCO 310*).

Quelques grandes institutions de création variétale

B (Barbades- réseau WISBEN) ;

CO (Inde, Coimbatore) ;

CP (Floride, Canal Point) ;

FR (France-Guadeloupe, CIRAD) ;

H (Hawaii) ;

M (Ile Maurice, MSIRI) ;

N (Afrique du Sud, Natal) ;

Q (Australie, Queensland) ;

R (Réunion, CERF) ;

RB (Republica do Brasil) ;

ROC (Republic of China, anciennement Formose) ;

SP (Brésil, Copersucar).

Le temps où les variétés étaient largement diffusées gratuitement est révolu. Les obtenteurs demandent de plus en plus une rétribution de leur travail, soit par le paiement de royalties, soit par un échange avec un autre obtenteur. Cette tendance pose un problème pour les régions ne disposant pas de moyens de recherche.

Les variétés modernes, qui possèdent entre cent et cent vingt chromosomes, sont en fait basées sur un faible nombre de croisements originels et leur base génétique est donc réduite. L'exploration du génome complexe de la canne, et en particulier la meilleure compréhension de la part respective des différentes espèces impliquées dans les clones modernes, permettra de mieux utiliser les grands gisements inexploités de variabilité génétique dans les programmes de création variétale. Les progrès des cartes génétiques établies grâce aux nouveaux outils moléculaires, la localisation de certains gènes, la meilleure compréhension de leur fonctionnement, les possibilités de la transgénèse, laissent encore espérer aux sélectionneurs d'importants gains d'efficacité.

● **L'écologie de la canne à sucre**

La canne à sucre, graminée en C4, est une machine photosynthétique particulièrement efficace en milieu tropical. Les meilleurs rendements observés sont impressionnants : 200 tonnes de tiges par hectare en douze mois, à 14 % de saccharose. La monoculture, qui est assez générale, montre ses limites dans diverses régions où elle dégrade les sols sur le plan physique (compaction, diminution de la réserve utile), chimique (acidification, carence en silice) et biologique (réduction de l'activité microbienne, prolifération de nématodes).

Les facteurs et conditions du milieu, climat et sol, ont une importance considérable dans l'élaboration du rendement, tout au long de son cycle.

● **Le climat**

Du fait de son fonctionnement spécifique, la mise à fleur de la canne entraîne un arrêt de la croissance et accentue, pour un temps, l'accumulation de saccharose dans les tiges. Ce phénomène, conditionné par la photopériode et donc par la latitude, varie aussi d'une variété à l'autre. La plupart du temps on cherche à éviter la floraison qui limite le rendement et la souplesse du calage des cycles.

Les optima climatiques (températures, insolation et pluviométrie) diffèrent au long du cycle et selon les variétés. Globalement, la culture a besoin de chaleur et d'eau pour la levée et la croissance et, à l'inverse, de froid ou de stress hydrique pour mûrir. Les besoins en eau peuvent être satisfaits par l'irrigation en complément des pluies, mais les excès d'eau compromettent la maturation. La culture de la canne à sucre suppose donc une saison sèche de quelques mois au moins.

Les températures optima se situent entre 26 et 33°C pour la germination, et entre 30 et 33°C pour la croissance, avec un fort ralentissement en dessous de 20°C. Les températures basses en fin de cycle favorisent la maturation. Les tiges de cannes, qui contiennent près de 70 % d'eau, gèlent à 0°C, température létale pour la culture.

● **Le sol**

La canne s'accommode d'une large gamme de sols, du très sableux au très argileux ou à la tourbe, et supporte des pH allant de 4 à 10 (optimum entre 5,5 et 8).

Pour un bon fonctionnement du couvert, il est préférable que les sols aient une bonne profondeur, une bonne aération et une absence de sels toxiques (aluminium, sodium, etc.). Avec la mécanisation de la récolte et du transport, il faut soigneusement considérer la portance des sols et leur dégradation sous engins lourds. Pour la coupe mécanique, la pente maximale varie de 15 à 30 % suivant les machines et pour le chargement mécanique frontal, de 10 à 15 %.

● **L'eau**

Si la canne est exigeante en eau, c'est une culture qui la valorise très bien et qui justifie l'irrigation dans de nombreuses situations (on compte généralement 15 mm d'eau par tonne de canne produite). En période végétative, les besoins vont de 100 à 170 mm par mois, soit 1 000 à 1 700 m³/ha.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture rencontrés dans le monde**

La culture de la canne est extrêmement diversifiée dans le monde et les techniques culturales varient avec le climat, le sol, les aléas parasitaires, la disponibilité et le coût de la main d'œuvre, la disponibilité en eau et en équipements, le type de transformation et la structure des exploitations. Le contraste est saisissant entre les petites parcelles jardinées que l'on trouve en Asie, où l'usine collecte chez plus d'une centaine de milliers de producteurs, et les immenses périmètres intégrant culture et usine en Afrique et en Amérique latine.

Avec l'augmentation continue de la taille des usines, on assiste, à l'exception notable de l'Afrique noire, à une tendance à séparer l'activité de production de canne et celle de l'usine. Cela implique des interfaces complexes entre les deux types d'acteurs pour la collecte et la rémunération.

● **L'élaboration du rendement et l'itinéraire technique**

Du fait de son mode de conduite, la culture de la canne justifie souvent des aménagements lourds : planage, courbes de niveau et épierrage pour permettre les interventions mécanisées, réalisation de réseaux de transport, d'irrigation, de drainage etc.

● **La mise en place de la culture**

La préparation du sol avant la plantation doit améliorer ses caractéristiques physiques (ameublissement en profondeur et aération) et chimiques (corrections en Ca, Mg et P) pour plusieurs années puisque on ne pourra plus intervenir que dans les interlignes après chaque coupe. On pratique classiquement la séquence sous-solage/labour/pulvérisage pour déboucher sur un sol sillonné prêt à recevoir les boutures. Cette préparation se fait généralement en saison sèche ou en début de saison des pluies. L'usage d'un engrais vert avant replantation permet une intervention des outils plus efficace que sur sol nu.

La réussite de la plantation conditionne largement la réussite de l'ensemble du cycle pluriannuel de la culture. On recherche une germination rapide, homogène et dense pour obtenir un couvert fonctionnel et couvrant rapidement le sol, ce qui permet de limiter les problèmes de mauvaises herbes.

La fermeture du couvert dépend de la température et est plus lente en vierge du fait de l'installation du nouveau système racinaire. Pour ce faire, il faut disposer de boutures de bonne qualité, d'une fumure et d'une protection appropriées et d'un sol finement préparé et humide dans le sillon. La plantation comprend trois opérations, dont chacune peut être mécanisée :

- > les boutures sont coupées (dans l'idéal des cannes vierges de sept à dix mois) dans une parcelle pépinière et transportées avec leur paille au lieu de préparation, en général au bord de la parcelle à planter ;
- > elles sont effeuillées, triées, tronçonnées en boutures de trois ou quatre yeux puis, le plus souvent, traitées contre maladies et insectes ;
- > elles sont ensuite mises en terre à plat dans le fond du sillon en lignes simples ou doubles puis recouvertes de 2 à 5 cm de terre fine.

Dans la pratique, lorsque la main d'œuvre est chère, la plantation se fait avec des cannes entières, non effeuillées, et le tronçonnage se fait à la machette au fond du sillon. D'une manière générale, les variantes techniques sont très nombreuses : boutures de trois yeux inclinées à 45°, repiquage des jeunes pousses issues des bourgeons latéraux, plantation des *bouts blancs*, de boutures à un œil ou de vitroplants après sevrage, etc. La replantation d'une parcelle mal plantée (recourage) est coûteuse et peu efficace. Il est donc parfois intéressant, si trop d'aléas menacent la plantation, d'augmenter fortement le tonnage de boutures pour garantir une bonne densité.

À raison de quatre à huit tonnes de boutures par hectare, il faut en général prévoir un hectare de pépinière pour dix hectares de culture. La bonne gestion des pépinières, et en particulier leur suivi phytosanitaire, est un élément important de la réussite de la culture. La levée commence au bout de dix à quinze jours.

● **L'entretien**

La période critique de nuisibilité des mauvaises herbes sur la canne se situe entre 30 et 90 jours après la plantation ou la coupe. Ceci est particulièrement vrai en canne vierge car les boutures sont en compétition sur sol nu avec les adventices pour l'espace racinaire et aérien. Un bon entretien en vierge limite le stock semencier des mauvaises herbes en repousse. Le maintien des pailles en repousse limite également un peu la flore adventice.

Le sarclage manuel constitue la méthode de lutte contre l'enherbement la plus fréquemment pratiquée. Il doit être effectué plusieurs fois au cours des premiers mois de culture, si l'on n'emploie pas d'autres moyens de lutte. Le désherbage mécanique, avec des outils à dents montés sur des tracteurs, est parfois utilisé. Il faut alors prendre soin de ne pas blesser les pieds de canne, surtout en début de cycle. L'emploi des herbicides est largement répandu, notamment avec des applications de pré-levée juste après la plantation ou la coupe.

Lors des pulvérisations avec des produits de pré-levée, on ajoute fréquemment un produit de post-levée, comme le 2,4-D ou le triclopyr, pour éliminer les plantules apparues avant le traitement. Des applications de post-levée des mauvaises herbes et de la canne sont également effectuées avec des produits comme l'ioxynil, le 2,4-D, l'asulame ou le TCA, etc.

Des herbicides totaux, comme le glyphosate, sont employés en préparation des sols en cas d'infestation par des espèces vivaces comme *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus* ou *Cynodon dactylon*.

Le travail par des griffes en interligne des repousses peut également être utile pour améliorer la structure du sol. Il peut être couplé avec l'apport de la fumure d'entretien. Dans certains cas, une intervention sur la paille peut être justifiée après la coupe, soit pour la valoriser (pressage en balles) soit pour favoriser la levée (dégagement de la ligne de canne).

● La fumure

La fumure doit être basée sur les exportations de la culture en éléments majeurs. Celles-ci varient avec le sol, la fertilisation apportée, l'état végétatif de la culture, le mode de récolte (brûlage ou non, bouts blancs exportés ou non) et, dans une moindre mesure, la variété.

Tableau 1. Exportations en éléments majeurs (en kg par tonne de canne usinable)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Canne usinable	0,72	0,42	1,47	0,12	0,20	0,27
Sommités et paille	1,15	0,32	1,52	0,68	0,32	0,16
Souches et racines	0,26	0,12	0,39	0,13	0,09	0,07
Total	2,13	0,86	3,38	0,93	0,61	0,50
Valeurs extrêmes	1,56-2,30	0,65-1,28	2,23-4,60	-	-	-

D'après Fauconnier, Bassereau.

Bien souvent les sous-produits des usines peuvent être valorisés pour la fertilisation, en particulier pour la fumure de fond avant plantation :

- > *écumes de défécation* : 25 t apportent 5 kg d'azote, 125 kg de P₂O₅, 25 kg de K₂O et 750 kg de chaux ;
- > *vimasses de distilleries* : 100 m³ apportent 150 kg d'azote et 1000 kg de potasse ;
- > *mélasses* : lorsqu'elles ne sont pas valorisées autrement (vente ou élevage), elles peuvent compléter un apport en K₂O.

Les fourchettes des fumures apportées

Elles varient largement :

- azote : entre 50 et 250 kg de N par ha et par an ;
- phosphore : entre 40 et 100 kg de P₂O₅ par ha et par an ;
- potassium : entre 80 et 240 kg de K₂O par ha et par an.

En complément du raisonnement des exportations et des calages déterminés par les courbes de réponses expérimentales, la méthode du diagnostic foliaire est utile pour déterminer l'état nutritionnel de la plante, en particulier pour les grandes exploitations agro-industrielles. Elle permet de réagir rapidement aux carences éventuelles, mais est délicate d'emploi.

Les conditions de prélèvement (ordre de la feuille, date de prélèvement, mesures de l'humidité) doivent être scrupuleusement respectées et le référentiel de normalité doit être validé localement car il est lié au site et à la variété.

Seul un bilan par élément, partant du stock initial du sol, de sa biodisponibilité, des apports et des pertes par volatilisation, lixiviation ou lessivage permet une gestion rationnelle, et sur le long terme, de la fertilité sous une culture continue de canne à sucre. Pour certains éléments comme l'azote, le pilotage de l'irrigation doit être raisonné avec celui de la fertilisation.

● La défense des cultures

Tableau 2. Les principales maladies de la canne à sucre

Noms	Principaux symptômes	Traitements	Zones
Maladies bactériennes			
<i>Gomose (Gumming)</i>	Raies jaunes sur feuilles se desséchant	Désinfection couteaux Variétés résistantes	Mascareignes Afrique, Cuba
<i>Echaudures des feuilles (Leaf scald)</i>	Raies blanches, fines et longues sur feuilles et gaines-ailerons	Roguing. Pépinières. Désinfection couteaux Thermothérapie longue (3h, 50°C) Variétés résistantes	Monde
<i>Rabougrissement des repousses (Ratoon stunting disease ou RSD)</i>	Aucun – parfois décolorations rouges en virgules dans les noeuds	Traitement long des boutures : 2h à 50°C Désinfection couteaux Pépinières	Monde
Maladies à virus			
<i>Mosaïque (SCMV)</i>	Marbrure des feuilles jeunes	Roguing. Pépinières Variétés résistantes	Monde
<i>Maladie de Fidji</i>	Déformation du sommet Tumeurs jaunes étroites d'environ 1 cm de long, en relief sur la face inférieure des jeunes feuilles	Variétés résistantes	Australie Philippines Thaïlande
Maladies cryptogamiques			
<i>Charbon (Smut)</i>	Fouet charbonneux, tiges allongées et fines	Thermothérapie courte (25 mn à 54°C) Variétés résistantes Roguing dans pépinières	Monde
<i>Mildiou (Downy mildew)</i>	Stries pâles allongées, duvet blanc face inférieure feuilles	Roguing dans pépinières Labour Variétés résistantes	Asie Australie
<i>Fusarioses (Pokkah Boeng, Stem rot, Wilt)</i>	Pourriture du sommet de la tige, de la bouture. Déformation, dessèchement feuilles	Variétés résistantes Choix des boutures	Monde
<i>Morve rouge (Red rot)</i>	Nervures des feuilles rougies ; intérieur rougi des tiges et boutures	Variétés résistantes Choix des boutures	Monde
<i>Maladie de l'ananas</i>	Pourriture rouge puis noire des boutures, odeur d'ananas	Variétés résistantes Traitement fongicide des boutures	Monde

Tableaux 3. Les principaux ravageurs et auxiliaires des champs de canne

Type d'ennemis	Noms scientifiques de genres	Répartition géographique	Symptômes et dégâts	Traitements (dominants)
Insectes du sol : vers blancs, cigales, termites, certaines cochenilles (ground pearls)	<i>Anomala</i> , <i>Yanga</i> , <i>Amitermes</i> , <i>Saccharicoccus</i> , <i>Promargarodes</i>	Monde	Dessèchement et mort des tiges	Chimique, biologique
Nématodes (sol)	<i>Meloidogyne</i> , <i>Pratylenchus</i>	Monde	Dessèchement et mort des tiges à la plantation (grave en sol sableux)	Chimique
Chenilles mineuses (borers)	<i>Diatraeae</i> <i>Chilo</i> <i>Sesamia</i> <i>Eldana</i>	Amérique Asie Monde Afrique	Destruction de jeunes talles, galeries dans les tiges : baisse de rendement et de la richesse	Biologique, variétés résistantes
Chenilles défoliatrices (army worms)	<i>Spodoptera</i> , <i>Leucania</i>	Afrique	Destruction du feuillage, rarement économique	Chimique
Insectes piqueurs-suceurs (dessèchement des feuilles) : cochenille, puceron, delphacide, cercope, aleurode	<i>Aulacaspis</i> <i>Ceratovacuna</i> <i>Perkinsiella</i> <i>Mahanarva</i> <i>Aleurolobus</i>	Monde Asie Asie, Pacifique Amérique du sud Asie	Tige/feuille Feuille Feuille (maladie de fidji) Feuille Feuille	Biologique, chimique
Rats	<i>Rattus</i>	Monde	Entre-nœuds de la base rongés, tiges versées	Chimique (appâts)

Type d'auxiliaires	Famille - Genre	Ennemis cibles	Stades sensibles de l'ennemi (les plus fréquents)
Entomopathogènes	Bactérie (<i>B. thuringiensis</i>) Virus (<i>Baculovirus</i> , ...) Champignon (nombreux) Sporozoaire (<i>Nosema</i> , ...)	tous chenille, vers blancs tous chenille, vers blancs	Larve Larve, adulte Larve, nymphe, adulte Larve
Nématodes	<i>Mermis</i> , <i>Neoplectana</i>	chenille, vers blancs	Larve
Parasitoïdes diptères	Tachinaires (<i>Lixophaga</i> , ...) Syrphides (<i>Syrphus</i> , ...)	chenille, vers blancs piqueurs-suceurs	Larve, chrysalide Larve
Parasitoïdes hyménoptères	Braconides (<i>Cotesia</i> , ...) Ichneumonide (<i>Xanthopimpla</i>) Eulophides (<i>Tetrastichus</i>) Scoliidés (<i>Campsomeris</i>) Trichogrammes	chenilles chenilles chenilles vers blancs chenilles	Larve Larve, chrysalide Chrysalide Larve Œuf
Prédateurs araignées Prédateurs punaises	Nombreuses espèces Anthocorides (<i>Orius</i> , ...) Mirides (<i>Cyrtorhinus</i> , ...) Reduves	tous chenilles, piqueurs -suceurs <i>Perkinsiella</i> Tous	Larve, adulte Larve Œuf Larve
Prédateurs coléoptères	Coccinelles	Piqueurs - suceurs	Oeuf, larve, adulte
Hyménoptères	Fourmis (<i>Pheidole</i> , ...)	effet + : chenilles effet - : piqueurs-suceurs	Oeuf, larve Larve, adulte

L'état sanitaire de la sole cannière revêt une grande importance du fait :

- > de la concentration géographique des parcelles de cannes autour de l'usine ;
- > du mode de multiplication par boutures et du caractère pluriannuel de la culture qui favorise un développement rapide des ennemis des cultures ;
- > du délai nécessaire pour introduire, identifier et multiplier de nouvelles variétés.

Les actions de prévention et de surveillance phytosanitaire des cultures

Elles sont capitales et notamment :

- l'introduction de nouvelles variétés par une quarantaine agréée et efficace ;
- un schéma d'introduction et de sélection permettant l'élimination du matériel sensible et le maintien d'un statut variétal diversifié ;
- un schéma rigoureux de pépinière avec, en amont, un traitement thermo-thérapeutique des boutures ;
- un suivi des niveaux d'attaque par les maladies ou d'infestation par les parasites et des mesures prophylactiques d'élimination lorsque cela s'impose. Les pulvérisations d'insecticides à large spectre sont déconseillées ;
- la consultation d'experts suite à l'identification de tout problème suspect.

● Les temps de travaux

● La plantation

Tableau 4. Temps de travail pour la plantation

Manuelle (levée délicate ou essais)		Manuelle simplifiée (bonnes conditions de levée)	
Coupe des pépinières	3 t/8 heures	Coupe des pépinières	3 t/8 heures
Epaillage des cannes	2 t/8 heures	Mise en place des cannes	0,4 ha/8 heures
Coupe des boutures (avec tri)	1,5 t/8 heures	Coupe des boutures dans sillons	1,0 ha/8 heures
Trempage des boutures	1 t/8 heures	Epannage des engrais	1,0 ha/8 heures
Mise en place des boutures	0,2 ha/8 heures	Recouvrement	0,3 ha/8 heures
Epannage engrais dans sillons	1 ha/8 heures		
Recouvrement manuel	0,3 ha/8 heures		
Total	25 jours/ha	Total	10 jours/ha

En plantation mécanique, il faut compter, selon la machine utilisée, entre cinq et quinze heures par hectare.

● L'entretien manuel

Tableau 5. Temps de travail pour l'entretien

Traitement herbicide (pré-levée) sur ligne	2,5 ha/8 heures
Traitement herbicide (pré-levée) sur surface totale	1 ha/8 heures
Sarclage canne vierge (par intervention)	15 à 20 jours/ha
Sarclage repousse (par intervention)	10 à 15 jours/ha
Epannage engrais (2ème apport)	1 ha/jour
Irrigation à la raie sans siphon	0,5 à 1 ha/jour
Irrigation à la raie avec siphons	2 à 4 ha/jour

● La coupe

Tableau 6. Temps de travail pour la coupe

Manuelle		Mécanique	
Cannes en paille	1,5 à 2,5 t/jour	Tronçonneuse-chargeuse	30 t par heure effective, soit 135 t par jour de 10 heures
Cannes brûlées	3,0 à 6,0 t/jour	Andaineuse	40 t par heure effective, 180 t par jour de 10 heures
Cannes attachées en fagot	1,0 à 1,5 t/jour		

● Le chargement

- > *manual* : 8 t/jour en paquets et 5 t/jour en vrac ;
- > *mécanique* : 25 à 40 t par heure effective, soit 300 à 500 t par jour de 24 heures.

● La récolte et les opérations post-récolte

Par sa durée et par les moyens humains et matériels mis en œuvre, la récolte (ou campagne ou coupe) est la phase principale de la culture. Elle met en jeu des intérêts parfois contradictoires entre usine (approvisionnement constant avec des cannes riches, les plus fraîches et les plus propres possible) et producteurs (rémunération maximale, disponibilité de la main-d'œuvre et du transport, temps d'attente à l'usine).

La canne est un produit périssable qui devrait être broyé moins de deux jours après la coupe en paille (une journée après une coupe en brûlé). De la part du producteur, la récolte exige une préparation soignée comprenant la gestion de la maturation et la prévision des richesses, l'estimation des tonnages, la préparation des équipements et de la main d'œuvre, la prévention contre les incendies.

Le sucre s'accumule à la base de la tige. C'est pour cela que la coupe de la canne doit se faire près du sol (*coupe rase*) et éliminer le bout blanc, beaucoup moins riche en sucre. Les coupeurs accumulent sur un andain, avec ou sans épillage, les cannes de plusieurs lignes. La récolte à la machine se développe rapidement dans certaines régions. Les machines sont soit du type *coupeuses-andaineuses*, soit du type *coupeuses-tronçonneuses-chargeuses*. Le chargement mécanique tend à se généraliser du fait de la grande pénibilité du chargement manuel.

Le transport des cannes à l'usine est une opération où les aspects organisationnels sont déterminants, en particulier sur les coûts. En cas de récolte à la machine en tronçonné, le transport direct à l'usine par remorque, camion ou conteneur est la règle. Dans les autres cas, il y a souvent rupture de charge à cause du passage en centre de transfert, qui permet regroupement et pesée.

● La production actuelle et les perspectives

La part de la canne dans la production de sucre est croissante. Les cours mondiaux du sucre sont déprimés du fait d'une surproduction structurelle et de la concurrence des édulcorants. La part des échanges, hors de zones conventionnées et protégées, reste faible mais peut s'accroître avec la libéralisation générale des marchés.

Tableau 7. Production de canne à sucre dans le monde

	Surfaces (1000 ha)		Production de canne (1000 t)	
	1992-1993	2000-2001	1992-1993	2000-2001
Brésil	4 050	5 023	257 500	339 136
Inde	3 705	4 050	241 000	286 000
Cuba	1 260	1 100	55 000	35 000
Chine	1 231	1 034	73 900	77 800
Thaïlande	947	850	43 654	49 070
Total mondial	17 764	19 204	1 075 091	1 246 845

Chiffres FAO 2002.

LE PALMIER À SUCRE

Borassus flabellifer

Anglais : sugar palm

Espagnol : boraso

Famille des Palmaceae ou Arecaceae

● La plante et ses utilisations

Les buts de cette culture, spécifique de l'Asie, sont multiples. Les feuilles servent à la confection de nattes, chapeaux, paniers, toitures, papier, et comme engrais vert. La sève peut être consommée fraîche ou utilisée pour la fabrication de sucre brun, de boissons plus ou moins alcoolisées et de vinaigre ou pour un usage médicinal. Les fruits sont comestibles frais avant maturité. La pulpe autour des amandes est riche en vitamines C et A. La partie interne de la graine est également consommable. Le stipe constitue un bois d'œuvre, imputrescible et résistant au feu. Les fibres sont utilisées en cordonnerie et les pétioles servent à la confection de nattes et de cloisons et comme combustible.

Le tronc, non ramifié et renflé à la base, a une hauteur moyenne de 25 m. À son sommet se déploie une rosette de grandes feuilles (1,80 m d'envergure) coriaces, sempervirentes, palmées. Le bourgeon terminal correspond aux limbes des trois feuilles en cours de formation au sommet du stipe. Il est consommable (chou palmiste) mais son prélèvement entraîne la mort de l'arbre. Le système racinaire est développé, mais peu profond.

La plante est dioïque. Les régimes portent deux ou trois chatons de fleurs. Les inflorescences mâles atteignent 150 cm de long. Les femelles sont moins longues. Il y a de très nombreuses fleurs mais seules quelques-unes, situées au sommet, sont fertiles. Le fruit, drupe ovoïde de 15 cm sur 12 cm, renferme trois noyaux. Les fruits sont groupés en régimes (quarante à cinquante fruits). Verts lorsqu'ils sont immatures, ils deviennent jaune orangé tachés de brun lorsqu'ils mûrissent et dégagent une odeur de térébenthine. Les fleurs et les fruits permettent de distinguer les arbres mâles, préférentiellement exploités pour le bois, des arbres femelles, qui fournissent plus de sucre.

C'est un arbre plastique, qui s'adapte aussi bien à la sécheresse qu'à l'humidité et à différents types de sol. Il est abondant sur sols alluvionnaires ou sur matériaux d'origine éolienne. Il se développe sous des climats à pluviosité annuelle inférieure à 1 500 mm où la saison sèche est bien marquée (cinq mois minimum).

Le développement du palmier s'effectue en trois phases distinctes :

- > la graine met un mois pour germer. Elle donne une racine qui s'enfonce dans la terre alors qu'une feuille sort de terre. Le tronc se développe dans le sol pendant les premières années ;
- > à partir de six à huit ans, le tronc sort du sol et s'élève en hauteur ;
- > à partir de vingt à trente ans, les feuilles réparties tout le long du stipe tombent et il ne reste qu'un bouquet de feuilles au sommet. Apparaissent alors les fleurs et les fruits qui permettent de distinguer les pieds mâles des pieds femelles.

Le palmier à sucre est généralement cultivé le long des limites de champs, notamment sur les diguettes des rizières. Il crée un microclimat favorable à la croissance du riz, en jouant le rôle de barrière contre les vents secs et en limitant les risques de verse.

● La récolte

Pour la récolte du jus, les inflorescences sont attachées, secouées et découpées cinq à huit jours avant la collecte. Les incisions sont effectuées tous les deux ou trois jours pendant la période de production. Celle-ci s'étale sur cinq à six mois. La collecte du jus s'effectue deux fois par jour.

En vue d'éviter la fermentation (rapide pendant la saison sèche), on stérilise les bouteilles qui servent à la collecte du suc : utilisation de bouteilles en plastique (plus faciles à nettoyer et stériliser), enfumage des récipients avec des feuilles de palmier brûlées ou stérilisation avec de l'eau bouillante. Malgré ces précautions, le risque de contamination du jus est élevé. Les producteurs mettent donc un morceau d'écorce de *Shorea cochinchinensis* ou de l'hydroxyde de calcium dans les réceptacles pour bloquer la fermentation.

Les feuilles sont récoltées deux fois par an sur des arbres dont on ne prend pas le suc, car la récolte des feuilles aurait une influence négative sur le rendement du suc.

La production quotidienne de sève varie de 3 à 20 l par arbre et la durée d'exploitation est de deux à cinq mois. La teneur de la sève en saccharose varie de 9 à 16,5 %. La production annuelle de sucre par arbre est de l'ordre de 40 à 100 kg.

Bibliographie

La canne à sucre

CHARRIER A. édit., JACQUOT M. édit., HAMON S. édit., NICOLAS D. édit., *L'amélioration des plantes tropicales* Montpellier, CIRAD ; Montpellier, ORSTOM ; 1997.

FAHRASMANE L., GANOU-PARFAIT B. *De la canne au rhum*, INRA, Versailles, 1997.

FAUCONNIER R. *La canne à sucre*, Maisonneuve & Larose, Paris, 1991.

ROTT P. édit.(CIRAD-CA), BAILEY R. A. édit., COMSTOCK J.C. édit., CROFT B.J. édit., SAUMTALLY S. édit. *A guide to sugarcane diseases*, Montpellier, CIRAD ; ALEA, ISSCT ; 2000.

Le palmier à sucre

KHIEU BORIN. *Sugar Palm (Borassus flabellifer) : potential feed resource for livestock in small - scale farming systems*, FAO, Department of Animal Production and Health, ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (Cambodia)

Le rônier et le palmier à sucre, Production et mise en œuvre dans l'habitat, GRET - 1987, 92p.

PLANT RESOURCES OF SOUTH-EAST ASIA (PROSEA), *Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Major commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables*. N° 1-4, 5(1), 6-8, CD Rom, Wageningen, 1997.

5 2

Les cultures fourragères

5.2.1 Les caractéristiques générales

5.2.2 Les espèces fourragères



Les caractéristiques générales

À partir des contributions de A. Bigot (CIRAD), J. Huguenin (CIRAD), H.D. Klein (CIRAD), G. Rippstein (CIRAD), G. Roberge (CIRAD), B. Toutain (CIRAD)

LA DIVERSITÉ DES MODES DE PRODUCTION

La production de cultures fourragères concerne aussi bien les milieux spontanés (dont les espèces fourragères sont issues) que les espaces cultivés. Selon la capacité d'investissement de l'éleveur et la rentabilité de cet investissement, dans le contexte économique du moment, tous les niveaux d'intensification peuvent être envisagés : depuis les prairies spontanées et les savanes, riches en espèces fourragères indigènes, jusqu'aux cultures annuelles intensives, irriguées et fertilisées.

Il existe ainsi des parcours dont la flore a été enrichie par sur-semis, des prairies permanentes entretenues, des pâturages améliorés, des prairies temporaires, etc. Pour chacun de ces systèmes, on peut rechercher les plantes et les itinéraires techniques adaptés à un contexte particulier, ainsi que les technologies et les équipements correspondants. Les situations suivantes révèlent une intensification agropastorale croissante :

- > l'amélioration des parcours naturels par enrichissement en cultures fourragères ;
- > la création de lignes anti-érosives : plantation de ligneux fourragers ou de plantes fourragères herbacées pérennes à fort enracinement ;
- > l'installation de plantes de couverture fourragères en association avec des cultures annuelles ou des plantations d'arbres pérennes ;
- > la création de prairies temporaires en rotation avec des cultures non fourragères ;
- > l'installation de plantes fourragères cultivées, le plus souvent pérennes, dans un but de productions animales.

Il faut aussi mentionner l'installation de cultures à la fois vivrières et fourragères comme les niébé, les sorghos et les arachides (cf. chapitres 511, 512, 513, 514, 522). Dans ce dernier cas, on se référera aux techniques préconisées dans les autres chapitres. Cependant, lorsque ces plantes sont cultivées à des fins purement fourragères, des recommandations spécifiques existent et sont exposées dans le chapitre 522.

Tableau 1. Quelques plantes fourragères et leurs caractéristiques

Plante	Pluviométrie mm	Zone de production	Type de sol	Utilisations principales	Irrigation	Rendement en t MS/ha	Charge en UBT/ha	Semences Rendement en kg/ha	Maladies Ravageurs	Remarques
Graminées										
<i>Andropogon gayanus</i>	500-1 300	sahélo soudanien	sablo-argileux	pâture, foin	non	7,0-8,0	2,5	350	aucun	bovins
<i>Brachiaria decumbens</i>	> 800	soudanien	large gamme, acide	pâture, foin	non	7,0-16	2,5-14		insectes	
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	> 800	soudanien	sablo-argileux, acide	pâture, foin	non	7,0-16	2,5-14	300	insectes	
<i>Brachiaria mutica</i>	> 1000	soudano-guinéen	argileux	pâture	non	10		0	aucun	milieux inondés résiste au sel
<i>Cenchrus ciliaris</i>	250-1 000	sahélien	sableux, neutres	pâture, foin	oui	29			Oaucun	sols bien drainés
<i>Chloris gayana</i>	750-1 300	soudanien	large gamme	foin	non	2,0-8,0			aucun	résiste au sel
<i>Cynodon dactylon</i>	600-1 800	soudano-guinéen	sableux	pâture	non	5,0-15,0			aucun	antérosif
<i>Cynodon plectostachius</i>	1 000-2 000	soudano-guinéen	sablo-argileux, acide		non	7,5-15,0			aucun	envahissant
<i>Digitaria decumbens</i>	> 1 000	soudano-guinéen	large gamme	pâture, foin	non	5,0-20,0		0	aucun	résiste au pâturage
<i>Echinochloa stagnina</i>	lieux inondés	sahélien	argileux	pâture	non	10,0-17,0		0	aucun	résiste au sel
<i>Hyparrhenia rufa</i>	> 800	soudanien	sablo-argileux, acide	pâture	non	10,0-17,0			aucun	
<i>Panicum maximum</i>	800-1 800	soudano-guinéen	large gamme	pâture	non	13	4	500	aucun	sols drainés
<i>Paspalum conjugatum</i>	> 800	soudanien	argileux	foin, aff.auge	oui	38	13		aucun	buffles
<i>Pennisetum clandestinum</i>	> 900	altitude		pâture	non	10,0-12,0			aucun	
<i>Pennisetum purpureum</i>	> 1 000	soudano-guinéen	sablo-argileux	aff. auge	non	9,0-30,0	3,0-10,0		viroses	
<i>Setaria sphacelata</i>	> 1 000	soudano-guinéen	large gamme	pâture	oui	30	10			
<i>Sorghum bicolor</i>	500-600	sahélo-soudanien	argillo-sableux	coupe	oui	16	5	oui	aucun	inondation temporaire
<i>Tripsacum laxum</i>	> 1 000	soudano-guinéen	argilo-sableux	aff. auge	non	42	13		champiignon	sols drainés
				ensilage	oui	6,0-9,0	2,0-3,0	5 000	aucun	
				aff. auge	non	15,0-20,0	5,0-7,0		aucun	
				ensilage	oui	10	3			
					oui	20,0-27,0	6,0-9,0			
Légumineuses										
<i>Aeschynomene histrix</i>	> 900	soudano-guinéen	sableux, acides	pâture	non	4,0-7,0	1,0-2,0		champiignon	inondation temporaire
<i>Arachis pintoi</i>	> 1 000	soudano-guinéen	sableux, acides	pâture	non	7	2	1 600-2 000		ombrophile
<i>Cajanus cajan</i>	> 300	sahélo-soudanien	large gamme	aff. auge	non	6,0-8,0	2	750-1 000		sols drainés
<i>Chamaecrista rotundifolia</i>	> 700	soudano-guinéen	sableux, drainés	pâture	non	5,0-6,0	2	200-800		
<i>Calopogonium mucunoides</i>	> 1 250	guinéen	large gamme	pâture	non	4,0-6,0	2	200-300	viroses	inondation temporaire

Tableau 1. Quelques plantes fourragères et leurs caractéristiques (suite)

Plante	Pluviométrie mm	Zone de production	Type de sol	Utilisations principales	Irrigation	Rendement en t MS/ha	Charge en UBT/ha	Semences Rendement en kg/ha	Maladies Ravageurs	Remarques
Légumineuses (suite)										
<i>Centrosema pubescens</i>	> 800	soudano-guinéen	large gamme, acides	pâture	non	5,0-9,0	1,5-2,5	200		fixe bien N
<i>Desmodium intortum</i>	> 1 100	soudano-guinéen	neutres ou lég. acides	pâture, foin	non	12,0-19,0				
<i>Dolichos lablab</i>	> 750	soudanien	large gamme	pâture, aff.auge	non	5,0-9,0				
<i>Nectonia wightii</i>	> 1 000	soudanien	sols profonds drainés	pâture	non	4,0-10,0				
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	> 700	sahélo-soudanien	sols légers pH 5,8	pâture	non	100-300			champignons	
<i>Pueraria phaseoloides</i>	> 1 500	guinéen	argilo-sableux	couverture	non	10				antiristotique
			acides	pâture	oui	17				
<i>Stylosanthes hamata</i>	> 500	sahélo-soudanien	large gamme	pâture	non	8,0-10,0	3	1 750-2 000		résistant à l'antracnose
<i>Stylosanthes guianensis</i>	> 1 000	soudano-guinéen	large gamme	pâture	non	7,0-10,0				cv. sensibles
<i>Vigna unguiculata</i>	> 300	sahélien	sablo-argileux	foin, aff.auge	oui	10,0-14,0	4	300-500	anthracnose	
					non	4,0-5,0	1,3	750-1 500	insectes	résistance à la sécheresse
Arbres et arbustes fourragers										
<i>Acacia nilotica</i>	> 250	sahélien	sols profonds sableux-limoneux	émondage	non				aucun	résistance à la sécheresse
<i>Calliandra calothyrsus</i>	> 1 000	guinéen	sableux-limoneux acides	émondage	non	7,0-10,0			aucun	tannins
<i>Faidherbia albida</i>	400-600	sahélien	sableux-limoneux	émondage	non				aucun	nécessité d'une nappe phréatique à faible profondeur
<i>Gliricidia sepium</i>	400-3 500	très souple climatiquement soudano-guinéen	bien drainés pH indifférent pH > 5	émondage	non	9,0-16				perd ses feuilles en saison sèche
<i>Leucaena leucocephala</i>	> 1 000			émondage	non	10		350	psylle	mimosine toxique pour monogastriques
<i>Sesbania sesban</i>	> 500	sahélo-soudanien	aff. auge	émondage	non	5,0-15,0		1 000-2 000		

LE CHOIX D'UNE ESPÈCE FOURRAGÈRE

Lorsqu'un éleveur fait le projet d'établir une culture fourragère, il utilise plusieurs types de critères pour choisir les plantes :

- > l'éleveur prend en compte le type de production animale recherchée, le système d'exploitation des surfaces fourragères envisagé, la place de la culture par rapport aux autres productions de l'exploitation et les moyens financiers dont il dispose ;
- > les contraintes du milieu : ce sont les contraintes climatiques, les contraintes de sol et la disponibilité en eau pour l'abreuvement ;
- > l'adaptabilité des plantes fourragères ; elle concerne les caractères suivants : la résistance à la sécheresse, la sensibilité pathologique, la tolérance à l'engorgement temporaire ou prolongé, la résistance au surpâturage, l'aptitude à ne pas se faire envahir par les adventices, l'aptitude à l'association avec d'autres plantes et la tolérance à l'ombrage.

D'autres critères sont pris en compte en fonction de situations spécifiques : résultats obtenus en production animale, effet sur les cultures associées ou en assolement etc.

Les programmes d'expérimentation peuvent être relativement longs : sept années en moyenne séparent l'introduction d'une plante fourragère de sa vulgarisation. Le choix des plantes doit être complété par des recherches ultérieures portant sur l'itinéraire technique : travaux culturaux, écartement, date et doses de semis, fertilisation etc. Le délai peut être raccourci dans le cas d'une plante déjà connue par ailleurs, dans des conditions pédoclimatiques semblables.

L'ÉTABLISSEMENT ET L'ENTRETIEN DES SURFACES FOURRAGÈRES

● L'implantation

● Le semis

Pour une amélioration de parcours, un semis à la volée suivi d'un piétinement des animaux peut s'avérer suffisant en milieu humide. Dans le cas d'une création de prairie temporaire ou pérenne, un travail du sol conduisant à un lit de semence peut s'avérer indispensable.

Le taux de germination des graines doit être vérifié. Les doses de semis varient avec la taille des graines : 4 kg/ha pour *Stylosanthes*, plus de 20 kg pour *Vigna unguiculata*, moins d'1 kg/ha pour *Panicum maximum*, toutes ces valeurs correspondant à un taux de germination de 100 %. Les doses varient aussi avec le mode de semis choisi : sur un terrain nu mais bien préparé, les doses doivent être deux fois plus élevées si les graines sont semées à la volée que si elles sont semées en ligne.

● Le bouturage

Le bouturage est une technique permettant de couper les tiges à trois ou quatre nœuds de longueur et de les implanter directement en terre.

Cette technique est bien adaptée à des plantes telles que les *Brachiaria*, les *Cynodon* ou les *Pennisetum*, qui ne produisent pas beaucoup de semences.

L'exemple de *Brachiaria mutica*

Cette plante peut avoir de très longues tiges après un temps de repousse en saison des pluies d'au moins 60 jours. Il suffit alors de les couper (fauche normale), de les sectionner ou non, et de les planter.

Le mode de plantation peut être varié :

- plantation de trois ou quatre boutures de tiges tronçonnées dans chaque poquet, avec des espacements de 30 à 40 cm sur la ligne et entre les lignes ;
- plantation dans un sillon tracé à la charrue de tiges entières et fermeture du sillon planté par un passage d'un offset léger ou d'une herse.

Les mêmes méthodes peuvent être utilisées avec des plantes rhizomateuses comme le Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*).

Ces techniques s'appliquent davantage aux graminées qu'aux légumineuses.

● **Les éclats de souche**

Une souche est une touffe d'herbacée feuillue et racinée, surtout non fleurie. La technique consiste à l'éclater en talles et de planter ces talles sur un terrain bien préparé. On coupe les feuilles à 15-20 cm de hauteur pour éviter une évapotranspiration trop forte à la reprise. On coupe également les racines à 10-15 cm environ, puis on plante trois talles au moins par trou, avec un espacement de 40 cm sur la ligne et entre les lignes. Cette technique est bien adaptée à certaines plantes telles que *Panicum maximum*, certains *Cenchrus* ou *Brachiaria*.

La multiplication végétative est exigeante en main-d'œuvre (il faut compter cinquante à soixante-dix jours par hectare) et ne se justifie que si l'on ne dispose pas de semences.

● **L'entretien des prairies**

À l'installation de la prairie, il est presque obligatoire, quel que soit le soin apporté à la préparation du lit de semence, de favoriser le jeune semis ou les boutures et de lutter contre les adventices. Un premier sarclage a lieu environ dix à quatorze jours après l'implantation, lorsque les plantes ont bien levé ou que les boutures ont bien repris. Si nécessaire, un second sarclage a lieu deux semaines après et d'autres ensuite, jusqu'à ce que la prairie couvre bien le sol. Par la suite, peu de sarclages sont nécessaires si la prairie est bien gérée, malgré les coupes ou les pâtures.

Cependant, le vieillissement des prairies, une fertilisation déséquilibrée, un sous-pâturage, une surcharge en animaux ou des coupes mal adaptées engendrent la dégradation et le salissement des prairies par les adventices.

● La fertilisation

On peut parfois cultiver les prairies sans fertiliser, mais de multiples expériences montrent que faute d'un apport minéral ou organique, le sol s'épuise après seulement quelques années de gestion de la prairie. Il faut alors une longue période de repos ou des apports de fertilisants pour retrouver la richesse initiale du sol.

Tableau 2. Exportations de *Stylosanthes guianensis* fertilisé sans irrigation à Tombokro (Côte d'Ivoire, environ 1 300mm de pluie par an, sol ferrallitique) en kg/ha et par tonne de matière sèche produite

Année	(N)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	(26,6)	6,8	37,7	26,6	5,6
2	(28,0)	7,1	28,4	28,4	6,0
3	(24,8)	7,0	28,3	24,9	4,6

Tableau 3. Exportations de *Panicum maximum* fertilisé sans irrigation à Tombokro (Côte d'Ivoire) en kg/ha et par tonne de matière sèche produite

Année	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	13,4	4,1	35,1	5,0	6,2
2	13,8	4,8	23,4	6,2	8,0
3	15,2	5,6	21,9	6,2	8,0

Ces niveaux d'exportations sont élevés. Les niveaux sont plus faibles lorsque la production est moins élevée et lorsque la prairie est pâturée et non fauchée comme dans l'exemple ci-dessus : les animaux restituent au sol une partie importante des éléments minéraux absorbés, notamment K, à condition de répartir les bouses sur la prairie (ébousage).

Les apports de fumure de redressement sur les prairies doivent être raisonnés de la même manière que sur les autres cultures. La fumure d'entretien doit surtout tenir compte des exportations des plantes qui dépendent de la gestion de la prairie : coupe ou pâturage direct.

L'azote est un accélérateur de croissance qui selon son apport permet à l'éleveur d'adapter la pousse des prairies aux besoins du troupeau. Le phosphore, même à des doses faibles (10 à 20 kg de P₂O₅), reste indispensable à l'entretien de la plante, particulièrement des légumineuses. La potasse a un effet direct sur la production de la prairie. Il existe une interaction positive avec l'azote et également avec le phosphore. En cas d'apports trop importants ou de fortes réserves du sol, on constate parfois une surconsommation de K par la plante.

LA PRODUCTION DE SEMENCES FOURRAGÈRES

● **Les critères de sélection**

Les plantes sont sélectionnées dans leur milieu (savane naturelle, jachère, bordure de forêt) en fonction des principaux critères suivants :

- > la résistance aux maladies et prédateurs ;
- > le rendement en matière sèche (qui a longtemps été le critère dominant) ;
- > la qualité : c'est un critère plus difficile à mesurer que les précédents. Il faut apprécier la valeur alimentaire de la plante qui diminue lorsque la durée de repousse s'allonge. Pour cela, il faut effectuer des analyses chimiques et mesurer la digestibilité de différents constituants et l'ingestibilité globale. Ces deux derniers points exigent la présence d'animaux, donc des surfaces déjà importantes en fourrage.
- > l'aptitude à la multiplication par graines ou à la multiplication végétative. Il semble que la multiplication par graines a la faveur des éleveurs, si ces dernières ne sont pas trop chères ;
- > la facilité d'installation, pour limiter les désherbages.

● **Les modes de reproduction**

● **L'apomixie**

C'est un mode de reproduction asexuée par graines. De nombreuses graminées (andropogonées, panicoidées) sont apomictiques. C'est notamment le cas de *Cenchrus ciliaris*, de *Brachiaria decumbens* ou de *Panicum maximum*. La plupart des espèces sont pseudogames : bien que l'embryon ne soit pas issu de fécondation, le pollen est nécessaire pour induire sa formation (par simple contact entre le pollen et le stigmate). Les ovules doublent alors le nombre de leurs chromosomes et se reproduisent identiquement à leurs mères (clones).

● **L'autogamie**

C'est un mode de reproduction très courant chez les légumineuses : *Macroptilium atropurpureum*, *Macroptilium lathyroides*, *Neotonia wightii*... Les pièces sexuelles restent internes à la fleur et s'auto-fécondent. Chez d'autres espèces, l'autogamie est facultative. La majorité des fécondations se réalise à partir de pollen provenant de la source la plus proche, de la même fleur ou d'une fleur voisine.

● **L'allogamie**

Divers mécanismes diminuent le taux de fécondation d'une seule plante ou l'annulent. Il peut y avoir notamment décalage entre l'apparition des pièces mâles et femelles sur une même plante.

● La xénogamie

Elle existe chez les espèces au sein desquelles les sexes sont séparés, et chez les espèces hermaphrodites pour lesquelles un processus d'incompatibilité interdit à l'autopollen la fécondation de l'ovule.

● Le choix du site et des sols

Dans un système de production de graines, il faut choisir des terrains plats, fertiles, sans cailloux et, en cas de sécheresse, avec des possibilités d'irrigation. L'engorgement des sols est néfaste : il faut choisir des sols drainant bien, si possible sablo-argileux ou argilo-sableux pas trop lourds. Les parcelles doivent être propres (sans adventices) afin de favoriser la croissance de la plante sélectionnée et de ne pas récolter des graines étrangères. Des désherbages mécaniques ou chimiques sont souvent nécessaires.

● La fertilisation et le semis

La fertilisation doit être définie avec plus de précision que pour une prairie ordinaire. Une bonne connaissance de l'état physique et chimique du sol sont donc indispensables. Les carences du sol doivent être connues et prévenues. Pour une graminée type *Brachiaria* ou *Panicum*, l'azote joue un rôle très important en début de cycle végétatif, mais il faut limiter les apports en fin de cycle végétal (à la dernière coupe) pour réduire la quantité de matière verte (feuilles, tiges) au moment de la récolte des graines. En cours de végétation et en fin de cycle, la potasse joue un rôle essentiel. Le phosphore joue un rôle important dans le remplissage des graines.

Pour les légumineuses, une bonne nodulation est indispensable. Si le rhizobium n'est pas présent dans le sol, il faut inoculer les graines avant le semis avec le rhizobium spécifique. La chaux favorise la nodulation sur les sols acides.

Pendant la période végétative, on peut exploiter (coupe ou pâture) la prairie sans la fatiguer. On peut très bien ne pas l'exploiter en première année, c'est-à-dire la semer à une date précise pour obtenir directement la floraison et la mise à graine. Ceci nécessite une bonne connaissance de la physiologie de la plante, qui varie avec les conditions climatiques du pays et aussi d'un cultivar à l'autre. Dans le cas où il y a plusieurs exploitations, la date de la dernière exploitation est particulièrement importante.

En général les doses de semis sont plus faibles pour l'installation des prairies porte-graines que pour les prairies ordinaires. Il s'agit de diminuer la quantité de matière verte, de favoriser la grenaison et la récolte en assurant une meilleure pénétration de la lumière. On peut jouer également sur l'écartement des plantes sur la ligne et entre les lignes. C'est en première ou deuxième année qu'on obtient les meilleurs rendements en graines chez la majorité des plantes.

● La récolte

La récolte peut être manuelle ou mécanisée. Certaines plantes dont la maturité est hétérogène et dont les graines tombent facilement (*Panicum*) donnent de meilleurs rendements en récolte manuelle (ensachage des inflorescences).

● Les traitements post-récolte

Le nettoyage des graines comprend généralement les phases suivantes : triage par densité¹ pour séparer les graines vides des graines pleines, calibrage pour éliminer les graines étrangères, traitement chimique ou mécanique contre les parasites et pour favoriser la germination, ensachage dans des sacs laissant passer l'air (jute, plastique ajouré) pour une conservation de courte durée (moins d'une année).

La conservation doit se faire dans un local peu humide (humidité idéale inférieure à 30 %) et froid (température idéale : + 4°C). Faute de mieux et pour des conservations courtes, on peut conserver en local climatisé. En Guinée, la construction d'une case en terre à double paroi, avec ouverture entre les parois et la toiture, a permis en l'absence de climatisation de diminuer sensiblement la température. La dormance existe chez certaines plantes. La levée de dormance peut se faire avec le temps, si les conditions de conservation sont satisfaisantes².

Les légumineuses ont des graines *douces* ou *dures*. Les premières germent immédiatement, mais pas les secondes car leur tégument ne permet pas à l'humidité de pénétrer. Ainsi le *Stylosanthes guianensis* a des graines blanc-beige germant tout de suite et des graines *dures* marron foncé, dormantes. Pour obtenir un semis homogène et donc lever la dormance des graines dures, il faut scarifier (blesser le tégument) des graines dans un polisseur à riz par exemple, ou effectuer un traitement : eau chaude, acide sulfurique, etc.

L'EXPLOITATION DES PRAIRIES ET LA CONSERVATION DES FOURRAGES

L'herbe constitue une production primaire qui doit être transformée par les animaux. La qualité d'une prairie n'est rien en elle-même si elle n'est pas valorisée en produits utilisables par l'homme. Les principaux modes de transformation sont la pâture, la fauche et la conservation de l'herbe. La conservation est obligatoire dans la plupart des climats, notamment tropicaux (existence d'une saison sèche plus ou moins longue).

● Les modes de pâture

La pâture constitue à la fois la plus ancienne méthode d'exploitation connue, mais aussi une des plus complexes à raisonner et à améliorer. La pâture alternée et en rotation consiste à faire pâturer les animaux en alternance sur deux parcelles ou plus : une parcelle est pâturée, les autres sont au repos. Les plantes en repos reconstituent leurs réserves et ne sont pas exploitées à un stade trop précoce. La fertilisation et l'entretien des prairies sont ainsi facilités et profitent mieux à la croissance des plantes. La surveillance du troupeau est facilitée. Mais il existe des inconvénients : investissements plus élevés (clôtures) et travail de gestion plus important.

Signalons aussi le pâturage rationné (avec deux clôtures électriques, une devant et une derrière la partie en cours d'exploitation), le pâturage flexible où la charge est déterminée par la disponibilité en herbe, ou encore le pâturage mixte où plusieurs espèces animales sont présentes sur la même parcelle.

1 Colonne INRA.

2 Par exemple entre trois et six mois pour *Panicum maximum*.

Ce dernier système est utilisé sous les tropiques dans des pâturages à base de formations naturelles qui possèdent une grande diversité botanique et structurale (herbacées, ligneux).

Les banques fourragères ou jardins fourragers sont des cultures fourragères intégrées dans un système fourrager extensif. Elles apportent une complémentation aux animaux exploitant un pâturage naturel. Elles peuvent être constituées de légumineuses pour une complémentation protéique ou d'une association graminées et légumineuses pour une complémentation plus énergétique.

● **L'affouragement à l'auge ou zéro pâturage**

L'éleveur fauche sa prairie et transporte l'herbe pour la mettre à disposition des animaux.

Les avantages sont divers :

- > la prairie n'est pas abîmée par le piétinement en cas de forte pluie ;
- > on limite le contact avec les ectoparasites ;
- > certains fourrages peu adaptés à la pâture mais intéressants peuvent être consommés : *Tripsacum*, *Pennisetum*, maïs, sorgho.

Il existe aussi des inconvénients :

- > certains pensent que les performances zootechniques sont plus faibles, mais cette thèse est contestée ;
- > l'affouragement à l'auge demande du temps (fauche, chargement, transport, distribution) et des investissements (remorques, étables) ;
- > il n'y a plus de restitutions animales sur les prairies et il faut enlever les fèces des animaux dans les étables, ce qui peut conduire à une fabrication de fumier. Il faut donc apporter sur la culture fourragère une fumure minérale ou organique.

● **Les modes de conservation**

On peut conserver les fourrages par voie sèche ou par voie humide. La voie sèche conduit au foin ou à la déshydratation. La voie humide conduit à l'ensilage et aux balles rondes enrubannées, qui sont une forme d'ensilage.

● **Le foin**

Il s'agit de couper une plante fourragère verte et de la sécher naturellement ou artificiellement pour la conserver. Pour un séchage naturel, il faut une période sèche d'au moins trois jours. Le stade optimal de coupe est le stade végétatif ou début de montaison pour les graminées, bourgeonnement à début floraison pour les légumineuses. Il est conseillé de procéder en début de saison sèche, le foin pouvant difficilement se réaliser pendant la ou les saisons des pluies.

Il faut retourner l'herbe une à deux fois par jour (faner pendant le séchage au sol) pendant trois jours puis mettre en andains pour faciliter le ramassage, botteier en cas de motorisation, ramasser le foin séché sur une charrette et le mettre dans un abri protégé s'il est bien sec (environ 80 % de MS). S'il est encore un peu humide, il faut le ranger par couche de 40 à 50 cm d'épaisseur et saler chaque couche, le sel (NaCl) est hygrophile et absorbera l'eau qui reste dans les parois.

La valeur alimentaire dépend de la qualité de réalisation du foin. Un foin de qualité est un produit bien apprécié par les animaux, de couleur encore verte. Si le dessèchement de l'herbe après la coupe est rapide, il modifie peu la composition chimique de celle-ci et donc sa valeur nutritive. Les pluies pendant le fanage sont la principale cause de perte de valeur alimentaire. La diminution de valeur alimentaire est plus marquée chez les légumineuses en raison des chutes de feuilles lors du fanage.

Un bon savoir-faire peut améliorer le séchage. Cela consiste par exemple à faucher après la rosée matinale, à bien aérer aux heures de plus fort déficit hydrique, à mettre en andains le soir pour éviter une réhumidification nocturne. Si la pluie est probable, la mise en andain ou un séchage sur chevalet siccateur ou sur fil de clôture peut être prévu afin d'éloigner le fourrage du sol humide.

Les bovins consomment plus de foin (par kg de poids vif) que les ovins. Le foin peut être donné comme aliment exclusif pendant de longues périodes et peut participer à la ration d'animaux ayant de gros besoins alimentaires au même titre que l'herbe verte.

● L'ensilage

C'est un mode de conservation des fourrages sous forme humide à l'abri de l'air, sous plastique et en silo, grâce au développement de fermentations acidifiantes anaérobies, à partir des glucides solubles. Les céréales immatures tels que le maïs, le sorgho, le mil sont les plus riches en sucres et peuvent donc être ensilées sans conservateur. Les essais d'ensilage à travers le monde montrent l'aptitude de certaines graminées tropicales telles que *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Digitaria sp.*, à être ensilées moyennant l'addition de conservateurs et le recours au préfanage. Les tubercules et fruits amylicés s'ensilent très bien à condition pour les premiers d'être débarrassés de la terre.

L'ensilage est peu pratiqué en milieu tropical car il nécessite une mécanisation importante. Les critères de réussite de l'ensilage³ sont peu compatibles avec les contraintes des exploitations africaines et malgaches qui reposent sur des techniques manuelles ou de culture attelée.

● Les différents modes d'ensilage

L'ensilage direct se fait généralement à partir de 18 à 20 % de MS : la plante est mise en silo sitôt coupée et hachée. Le chantier est rapide mais les fermentations ne sont pas toujours bien orientées et il y a des jus qui entraînent les substances solubles de la plante. Pour l'ensilage préfané (ou mi-fané), on laisse sécher le fourrage jusqu'à 30 à 40 % de MS sur le sol après l'avoir coupé avec une faucheuse. Il faut un à deux jours sans pluies. Le haylage est un ensilage relativement sec : le fourrage dépasse 40 % de MS.

L'ensilage en balles rondes est une technique récente venant d'Europe du Nord qui permet d'ensiler les fourrages avec un large spectre de MS : de 30 à 60 %. Il nécessite un outillage spécifique et coûteux : la presse enrubanneuse.

³ Rapidité de remplissage du silo, finesse du hachage, importance du tassement, fermeture hermétique du silo.

Conseils pour la réussite des ensilages

Il faut choisir des plantes riches en sucre ou sinon préfaner et employer des additifs de fermentation (mélasse, dérivés de l'acide formique). Les plantes doivent être finement hachées pour libérer les sucres, aliments des bactéries lactiques, et pour permettre un meilleur tassement. Le fourrage ne doit pas être souillé avec de la terre, pour éviter les fermentations butyriques. Il faut remplir le silo en deux jours maximum, en tassant énergiquement et en fermant hermétiquement avec des bâches plastiques résistantes aux UV.

Lors de l'utilisation il ne faut exposer à l'air que la surface indispensable.

Un bon ensilage a une couleur vert-jaune et une odeur fruitée et agréable. L'odeur de vinaigre indique la présence d'acide acétique.

Tableau 4. Barème d'appréciation des ensilages. Demarquilly C. (1990)

Classe de qualité	Acide acétique (en g/kg MS)	Acide butyrique (en g/kg MS)	Azote ammoniacal (en % de l'azote total)	Azote soluble (en % de l'azote total)
Excellent	20	0	5-7	50
Bon	20-40	< 5	7-10	50-60
Médiocre	40-55	> 5	10-15	60-65
Mauvais	55-75	> 5	15-20	65-75
Très mauvais	> 75	> 5	> 20	> 75

LA PRODUCTION ET LA CAPACITÉ DE CHARGE

● La production et le rendement

La production d'une culture fourragère peut être exprimée en quantité de matière verte par unité de surface (en général tonnes de MV/ha). Mais les diverses plantes ont des teneurs variables en matière sèche, liées à leur composition propre mais aussi au temps de repousse et à la saison. Ces différences sont importantes : 10-12 % pour *Pennisetum purpureum*, 18-20 % pour *Stylosanthes guianensis*, 15 à 25 % selon les cultivars de *Panicum maximum*. Aussi est-il plus courant de raisonner en quantité de matière sèche (tonnes de MS/ha), d'autant plus que tous les paramètres de la valeur fourragère sont exprimés en pourcentage de la matière sèche. La production peut également être exprimée en quantité d'énergie (unités fourragères lait ou viande : UFL ou UFV) et d'azote.

La production de différentes graminées et légumineuses est exposée dans le tableau 1. Elle dépend des conditions climatiques et édaphiques locales mais également des pratiques des éleveurs. En général, les légumineuses herbacées produisent moins que les graminées.

La notion de charge ou de chargement

La capacité de charge ou taux de charge optimal est la quantité de bétail que peut supporter un pâturage sans être détérioré, le bétail étant en bon état d'entretien et de production. Cette capacité dépend :

- de la quantité de fourrage produit, disponible et appétant ;
- de la valeur fourragère des fourrages proposés aux animaux ;
- du mode de gestion des surfaces fourragères.

LES MALADIES

Le choix des plantes fourragères, le plus souvent issues de pâturages naturels, s'effectue en général sur plusieurs années et prend en compte l'absence de pathologie ou la résistance aux parasites et ravageurs. Cependant certaines maladies peuvent causer d'importants dégâts, comme :

- > l'anthraxose sur *Stylosanthes humilis* et *S. guianensis*, causée par le champignon *Colletotrichum gleosporioides* (Penz.) Penz. et Sacc ;
- > les salivaires ou *cingirrhinas*, qui peuvent détruire au Brésil des prairies entières de *Brachiaria ruziziensis* ou *decumbens*. Ce sont des insectes appartenant aux genres *Zulia*, *Deois*, *Aeneomalina* et *Mahanarva* ;
- > le psylle ou *Heteropsylla cubana*, insecte qui s'attaque à l'arbuste fourrager *Leucaena leucocephala*.

La lutte chimique est possible mais généralement non rentable. La lutte biologique est préférable. Des organismes de recherche internationaux ou nationaux⁴ travaillent à la mise au point de cultivars résistants. En attendant les résultats de ces travaux, il faut utiliser des espèces résistantes comme *Stylosanthes hamata* pour l'anthraxose, *Brachiaria humidicola* ou *B. brizantha* cv Marandu pour les salivaires, *Leucaena diversifolia* ou *L. pallida* pour le psylle.

Les producteurs de fourrages doivent veiller à :

- utiliser des semences non contaminées achetées chez un producteur reconnu ;
- éviter d'implanter une seule espèce de fourrage sur de grandes surfaces, en semant des mélanges d'espèces ou de familles différentes, comme les mélanges graminées-légumineuses.

⁴ Ciat, Csiro, Embrapa.

LES CULTURES FOURRAGÈRES DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION

L'expérience montre que l'intégration des innovations relatives aux cultures fourragères dans les systèmes de production pose souvent problème. Pour faciliter leur adoption, il faut disposer de référentiels techniques validés et adaptés aux contraintes des paysans : il faut en effet que les utilisateurs fassent des choix techniques en rapport avec leurs possibilités⁵ et leur projet. La diversité des modèles techniques proposés doit donc être importante et comporter des solutions plus ou moins intensives telles que culture fourragère pure assolée, culture fourragère associée ou dérobée, plantes fourragères de couverture, cultures fourragères en allées ou en couloirs... Il faut également disposer de matériel végétal sain et à un prix abordable. La meilleure solution est de disposer de graines de qualité, mais, pour de petites surfaces et pour certaines espèces, l'implantation de la culture fourragère peut être envisagée par multiplication végétative, à partir d'éclats de souche ou de boutures.

La mise en place de cultures fourragères, notamment pérennes, soulève souvent des problèmes de droits fonciers. Lorsque ces aspects fonciers sont clarifiés, des espèces fourragères pérennes, herbacées ou ligneuses, peuvent jouer un rôle important dans les aménagements de terroirs : délimitation des parcelles, des pistes, haies, bandes enherbées, lignes anti-érosives.

L'intégration de la culture fourragère dans le système de production et dans le terroir est souvent la clé de son adoption. C'est en général dans un contexte d'intensification de l'élevage⁶ que l'investissement que constitue la mise en place de cultures fourragères se fait le plus facilement. C'est dans ce cadre qu'il est donc pertinent de l'appuyer, en recherchant des complémentarités entre traction animale, stabulation, affouragement des animaux (production fourragère), production de fumier, transport animal (des fourrages et du fumier), intensification agricole, etc.

Bibliographie

- BOUDET G., 1984. *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. CIRAD-EMVT, Ministère de la Coopération. 266 p.
- RIPPSTEIN G. et al., Rapport RABAOC, 1998. (Réseau de recherches en alimentation du bétail en Afrique Occidentale et Centrale). Rapport de synthèse N° 98-044. CORAF, ILRI, CIRAD-EMVT, CIAT. 36 p.
- ROBERGE G. et TOUTAIN B. (Ed.), 1999. *Cultures fourragères tropicales*. CIRAD-EMVT. Collection Repères. 369 p.
- SKERMAN P.J. (Ed.) 1982. *Les légumineuses fourragères*. Collection FAO : production végétale et protection des plantes N°2. Rome. 666 p.
- T'MANNETJE L. and JONES R.M. (Ed). 1992. *Plant Resources of South East Asia*. Forages N° 4. PUDOC Scientific Publishers, Wageningen, 301 p.
- TOUTAIN B., 1973. *Principales plantes fourragères tropicales cultivées*. Synthèse IEMVT N°3. (2^{ème} édition 1979). 201 p.

5 Surface, moyens matériels, main d'œuvre, équipement, etc.

6 Production laitière, embouche, animaux de trait, etc.

Les espèces fourragères

À partir des contributions de A. Bigot (CIRAD), J. Huguenin (CIRAD), H.D. Klein (CIRAD), G. Rippstein (CIRAD), G. Roberge (CIRAD), B. Toutain (CIRAD)

- > *Aeschynomene histrix*
- > *Andropogon gayanus*
- > L'arachide fourragère
- > *Calopogonium mucunoides*
- > *Chamaecrista rotundifolia*
- > Le dolique
- > L'herbe de Guinée
- > L'herbe de Para
- > L'herbe de Rhodes
- > La luzerne des Caraïbes
- > Le niébé
- > Le pois d'Angole
- > Le sorgho fourrager

AESCHYNOMENE HISTRIX

Aeschynomene histrix Poiret

Espagnol : naguapatillo

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

Cette légumineuse pérenne herbacée ou subligneuse, à port dressé ou procombant, peut atteindre 1 à 2 m de hauteur en conditions favorables. Le genre semble originaire d'Amérique centrale. Cette légumineuse est adaptée à une large gamme de sols et de climats dans la zone intertropicale.

En Guyane, elle supporte des conditions édaphiques défavorables sur des sols sableux pauvres, acides, parfois mal drainés. La pluviométrie est de l'ordre de 3 000 mm. En Afrique, elle est adaptée aux conditions pédo-climatiques des sites d'essai du Sénégal Sud (Casamance), du Ghana et du Togo. Les sols sont sablo-limoneux à argilo-sableux; les pH varient de 4,6 à 6,9. La pluviométrie est de 900 à 1 200 mm.

● La culture

L'installation par semis ne présente pas de difficulté particulière. Cependant la très petite taille des graines nécessite de préparer un lit de semence soigné. La levée est rapide (une à deux semaines) et le taux de germination est généralement élevé. L'inoculation par des rhizobium n'est pas nécessaire. L'exploitation par fauche est possible, cependant la hauteur de coupe doit être relativement haute (environ 0,5 m). Le port dressé de cette légumineuse est comparable à celui de *Macroptilium lathyroides* et laisse supposer un comportement semblable sous pâture.

● La production

Au Sénégal, la production a été de 2 à 6 t de MS/ha et par an, pendant la saison des pluies avec des repousses de deux à trois mois. Au Nigéria, la production est de 4 à 7 t de MS/ha en quatre mois, en saison des pluies. La production et la récolte de semences ne présentent pas de difficultés particulières car la plante graine abondamment. La floraison-grenaison est étalée dans le temps (plusieurs semaines). Pourtant l'espèce ne semble pas très agressive par ses resemis naturels¹.

ANDROPOGON GAYANUS

Andropogon gayanus Kunth - Synonymes : *Andropogon bisquamulatus* Hochst, *Andropogon squamulatus* Hochst, *Andropogon tridentatus* Hochst

Anglais : gamba grass

Famille des Poaceae

● La plante et son environnement

C'est une graminée pérenne qui pousse en touffes érigées et robustes. Le système racinaire est puissant : les racines peuvent atteindre 3 m de profondeur. La floraison est une floraison de jours courts, bien que certaines variétés soient remontantes toute l'année.

L'andropogon est originaire d'Afrique où il s'étend à travers toutes les régions tropicales de 15° Nord à presque 25° Sud. Il est bien adapté aux régions ayant une pluviométrie de 800 à 1 600 mm par an et résiste à des périodes de sécheresse dépassant cinq mois, mais ne supporte pas l'inondation, même temporaire. Il aime les sols sableux, mais peut être cultivé sur des sols argilo-sableux ou limoneux, même peu fertiles. Il supporte le feu parcourant régulièrement les savanes. Il apparaît dans les jachères après cinq ans de repos.

● La culture

La préparation du sol comprend généralement un labour, un disquage et un hersage. Le semis nécessite 0,75 à 1,25 kg/ha de graines germant à 100 %, ce qui correspond à 10-15 kg de graines commerciales de qualité moyenne. Les graines, de petite taille, doivent être mélangées à du sable sec, d'autant plus qu'elles sont légères et plumeuses. On peut également planter l'andropogon par éclats de souches avec un écartement de 40 cm x 40 cm (62 500 pieds par ha). On peut l'associer à de nombreuses légumineuses pérennes : *Stylosanthes hamata*, *Macroptilium atropurpureum*, ou *Centrosema pubescens*. On l'exploite en général par pâture mais la fauche est possible, si elle n'est pas trop rase.

¹ Observations faites dans les conditions guyanaises.

● La production

Les rendements sont variables et dépendent de la pluviométrie et de la fertilisation : de 5 à 15 t de MS par ha et par an. La valeur fourragère sur des repousses de 45 à 60 jours est de 0,60 UFL² et 55 g de MAD³/kg de MS. C'est un bon producteur de semences avec un potentiel de production de 350 kg/ha. Cependant toutes les graines ne sont pas fertiles ; la meilleure méthode de récolte est le ramassage au sol (96 % de germination).

L'ARACHIDE FOURRAGÈRE

Arachis pintoï Krapovickas & Gregory, nom.nud.

Anglais : pinto peanut

Espagnol : mani forragero perenne

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une légumineuse herbacée pérenne, stolonifère à port procombant et à fleurs jaunes. Comme toutes les *Arachis*, les graines sont enterrées lors de leur formation. Ceci implique une technique de récolte particulière (soulevage), puis la séparation de la terre et des gousses et l'extraction des graines. La plante développe un couvert dense et régulier de 20 à 40 cm d'épaisseur vert clair.

Originnaire du Brésil, le genre *Arachis* a évolué dans des milieux très divers, des régions semi-arides aux plaines inondées. Bien que tolérante à la sécheresse, cette légumineuse n'est intéressante qu'au dessus de 1 000 mm de pluviométrie annuelle. Fixatrice d'azote, elle tolère des sols à faible fertilité, acides (pH 4,5) et légers, mais pas les argiles lourdes. Sa pérennité, même en conditions difficiles (sécheresse ou inondation temporaire), est assurée par sa partie souterraine. Elle supporte l'ombrage et se resème naturellement.

● La culture

La préparation du sol peut être légère : disquage ou tillage suivi ou non d'un hersage. Le travail du sol peut rester peu profond (10 cm) et sans affinage poussé du fait de la taille des graines. Pour le semis, plus de 50 kg de graines sont nécessaires pour un hectare. Cependant *Arachis pintoï* s'implante facilement par bouturage mécanique ou manuel. En cas de semis, il faut prévoir un écartement de 50 cm entre les lignes et 30 à 40 cm sur la ligne. *Arachis* s'implante lentement, aussi des sarclages sont nécessaires. L'inoculation est préconisée mais n'est pas indispensable.

● La production

Le rendement peut atteindre 7 t de MS en une saison des pluies, d'un fourrage de bonne qualité (19 % de matière azotée totale et 73 % de digestibilité).

² UFL : unité fourragère lait : cf chapitre 60.

³ MAD : matière azotée digestible : cf. chapitre 60.

Arachis peut être coupé ou pâturé. La dernière coupe devrait s'effectuer 70 à 80 jours avant l'arrivée présumée de la sécheresse. On peut l'associer à des graminées : le CIAT signale une bonne association avec *Brachiaria dictyoneura*.

Arachis semble fleurir toute l'année avec plus ou moins d'intensité. Pour la production de semences, il semble logique de cibler les périodes de plus forte floraison. On peut les favoriser par une coupe basse. Il faut aussi rechercher une période de récolte en saison sèche. On peut sécher les graines au soleil sur une aire propre. Les graines ont une certaine teneur en huile, c'est pourquoi un séchage artificiel à 40°C maximum pendant deux semaines permet une meilleure conservation et lève la dormance. Les rendements sont très variables et peuvent dépasser 1 700 kg/ha.

***CALOPOGONIUM MUCUNOIDES* DESV.**

Anglais : calopo

Famille des Fabaceae

● **La plante et son environnement**

C'est une légumineuse herbacée pérenne mais à faible persistance, vigoureuse, volubile et rampante. Originaires d'Amérique tropicale et des Antilles, cette légumineuse est adaptée aux tropiques humides et chauds avec une pluviométrie annuelle de plus de 1 250 mm. Le *Calopogonium* est assez peu résistant à la sécheresse et supporte bien l'excès d'eau. Il est assez peu exigeant du point de vue édaphique et s'adapte à une large gamme de sols, même acides (pH 4,5 à 5). Il supporte peu l'ombrage. Sa pérennité est le fait de son fort potentiel de ressemis naturel.

● **La culture**

Connu pour son utilisation comme plante de couverture, comme engrais vert ou légumineuse pionnière en raison de ses faibles exigences du point de vue du sol, le *Calopogonium* peut être aussi pâturé. Cependant il est peu apprécié par le bétail. On peut l'installer en association avec d'autres espèces prairiales notamment des graminées stolonifères ou cespitueuses.

La préparation du sol peut être soignée pour la culture pure et plus grossière pour l'installation d'un pâturage. On peut l'installer par boutures de tiges, car celles-ci s'enracinent facilement aux nœuds, mais son installation par graines est la plus fréquente. La dose de semis recommandée est de 1 à 3 kg/ha à une profondeur de 1 à 2 cm. Il est souhaitable de recouvrir le semis par un hersage-roulage. Un certain nombre de graines *dures* peuvent exister après la récolte. Il est conseillé un traitement physique ou chimique pour un semis immédiat.

Le *Calopogonium* nodule naturellement. La croissance vigoureuse de la plante permet d'obtenir un couvert fermé en quatre ou cinq mois. Un ou deux sarclages seulement sont nécessaires pour son installation.

En pâture, le pâturage tournant est conseillé avec des temps de repos de l'ordre de huit à douze semaines. Dans ces conditions les rendements sont de l'ordre de 4 à 6 t de MS/ha/an. Le rendement en semence est évalué à 200-300 kg/ha.

CHAMAECRISTA ROTUNDIFOLIA

Chamaecrista rotundifolia (Persoon) Greene - Synonyme : *Cassia rotundifolia* Persoon

Anglais : roundleaf cassia, round leafed cassia

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une plante herbacée annuelle ou très peu pérenne, semi érigée à prostrée. Le cassia à feuilles rondes est originaire d'une aire géographique s'étendant du Mexique au Brésil et à l'Uruguay, y compris la région des Caraïbes. Il a été introduit dans le sud des Etats-Unis et dans une partie de l'Afrique de l'Ouest, ainsi qu'en Australie où il est commercialisé. Il est adapté à des zones recevant 700 à 1 400 mm de pluie. Il ne s'adapte pas à des sols mal drainés ou trop lourds.

● La culture

La germination doit être contrôlée avant le semis pour s'assurer que le taux de graines dures ne soit pas excessif. La dose de semis recommandée est de 2 à 4 kg par ha sur un sol légèrement préparé. La plante nodule naturellement avec des rhizobium de type *niébé*, et l'on ne connaît pas d'échec de nodulation.

Le cassia est utilisé pour la pâture et résiste bien à diverses pressions de pâturage. Les gousses sont mangées par le bétail et des taux de une à trois graines par fécès facilitent la dissémination naturelle de l'espèce.

Les rendements peuvent atteindre 5 t de MS/ha en culture pure. Les rendements annuels sont plus faibles en culture mixte (avec une graminée). Les rendements en graines s'échelonnent de 200 à 800 kg/ha. Le cassia peut être récolté manuellement ou mécaniquement.

LE DOLIQUE

Lablab purpureus (L.) Sweet, *Dolichos lablab* L.

Français : dolique, pois dolique, pois d'Egypte

Anglais : lab-lab bean

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une légumineuse annuelle à port volubile ou semi dressé, comprenant de nombreuses variétés. Son cycle végétatif est de 150 à 180 jours. C'est une plante très tolérante du point de vue des sols. Elle peut-être cultivée sur sols argilo-sableux ou limoneux, entre 750 et 2 500 mm de pluie. Elle résiste bien à la sécheresse et s'associe facilement avec des plantes vivrières (sorgho, maïs). Elle se cultive très bien en irrigué mais ne supporte pas un excès d'eau (submersion prolongée). Elle tolère les sols acides.

● La culture

En culture pure, la préparation du sol comprend généralement un labour, un disquage et un hersage. La plantation peut se faire sur sol plat ou sur billons espacés de 80 à 100 cm. Le semis peut se faire en lignes ou en poquets. On sème 10 à 20 kg de graines par ha, germant à 100 %, à des espacements de 40 cm sur la ligne et entre les lignes. Les graines sont assez grosses et il faut veiller à bien les enterrer (2 cm au moins). Deux binages, l'un deux semaines après la levée et le second deux semaines plus tard sont nécessaires.

La plante nodule naturellement avec des rhizobium de type *niébé*. Cependant, certains auteurs préconisent une inoculation spécifique sur les terres où des légumineuses n'ont pas déjà été cultivées ou un mélange avec de la terre ayant déjà reçu du niébé.

● La production

Les rendements sont de 5 à 8 t de MS/ha en trois à quatre coupes pendant la saison des pluies et de 6 t de MS en une coupe pour du foin. La dolique peut être pâturée, sauf pendant la floraison en raison de l'odeur de savon des fleurs. En revanche, la plante donne un excellent foin très apprécié. La dolique s'associe facilement avec des plantes vivrières et est très prisée pour cette raison. Sa valeur fourragère est de 0,62 UF/kg de MS et 93 à 110 g de MAD/kg de MS.

L'HERBE DE GUINÉE

Panicum maximum Jacq.

Anglais : Guinea grass

Famille des Poaceae

● La plante et son environnement

C'est une graminée pérenne souvent en touffe, dressée, mais parfois rampante. Elle peut être confondue avec *Panicum infestum* avec laquelle elle peut s'hybrider. Cette plante a une reproduction majoritairement apomictique (clones). Environ 500 clones ont été réunis par l'IRD (ex-ORSTOM). Des hybrides ont été créés entre les genres sexués et apomictiques. Les cultivars les plus utilisés sont : *ORSTOM K 187 B*, *O C1*, *O T58*, *Trichoglume*.

Le *Panicum* est adapté aux climats à pluviométrie variant de 900 mm à plus de 1 800 mm. Originaire d'Afrique, il a été répandu largement dans les autres régions tropicales et sur tous les continents. Il est adapté à de nombreux types de sols du point de vue de leur texture, mais il ne tolère ni l'inondation ni la salinité. Il possède un système racinaire profond et fasciculé. Sa faculté de renouveler ses racines offre au sol une source de matière organique et contribue à un stockage important de carbone dans les sols.

● La culture

Il faut préparer un lit de semence fin : labour, disquage et hersage semblent indispensables en culture mécanisée. La dose de semis varie de 2 à 4 kg/ha de graines germant à 100 %. Il faut les mélanger à du sable sec car les graines sont très petites. On réalise un semis en continu sur la ligne, avec un espacement des lignes de 40 cm. On peut aussi multiplier par éclats de souches à trois brins, plantés verticalement à 40 x 40 cm (62 500 pieds par ha), après coupe des racines et des feuilles à environ 15 cm. Le *Panicum* peut être associé à des légumineuses pérennes comme *Stylosanthes hamata*, *Macroptilium atropurpureum* et *Centrosema spp.* Sa pérennité est longue : il peut se maintenir plus de quinze ans avec une fertilisation appropriée. Il n'est pas envahi par les adventices sauf en cas de surpâturage fort ou de mauvaise protection à l'installation.

● La production

L'herbe de Guinée peut être exploitée par pâturage, en affouragement à l'auge, en foin avec des variétés à feuilles fines, plus difficilement en ensilage (avec additif). Le *Panicum* est très apprécié du bétail à condition que les repousses soient jeunes : 21 à 35 jours pour la pâture, environ 35 jours pour la fauche, en saison de croissance. En saison des pluies, on obtient 10 à 15 t de MS/ha. On peut obtenir 20 à 30 t de MS en irrigué (10 à 12 exploitations). Les valeurs fourragères varient en fonction du temps de repousse et de la saison. En saison des pluies, on peut obtenir à 28 jours de repousse des valeurs de 0,67 UFL/kg de MS et 90 g de MAT/kg de MS.

La production de semences est réalisée manuellement par ensachage des panicules aux premières chutes de graines et en pliant les hampes florales, ou mécaniquement à la moissonneuse-batteuse. Dans ce cas, l'égrenage est plus important et la fertilité des graines est moindre. Le rendement espéré peut être de 350 kg/ha en récolte manuelle, plus faible en récolte mécanisée. La récolte semble plus importante en première année, avec un semis ou un bouturage en début de saison des pluies.

L'HERBE DE PARA

Brachiaria mutica (Forssk.) stapf

Anglais : para grass

Famille des Poaceae

● La plante et son environnement

Cette graminée pérenne possède un port dressé mais des tiges rampantes sur le sol sont capables de s'enraciner au niveau des nœuds. Probablement originaire d'Afrique tropicale humide, on la trouve naturellement sous 1600 mm de pluviométrie ou plus. Mais, elle s'adapte très bien aux milieux semi-arides au bord des fleuves dans les zones humides de décrue, les bas-fonds et en milieu irrigué. Le *Brachiaria* préfère les sols argileux. Il accepte l'inondation pendant plusieurs mois et une certaine salinité des eaux.

● La culture

La préparation du sol est un labour ou un disquage, soit à plat soit en formant des billons écartés de 50 à 60 cm. Le bouturage se pratique avec des boutures de tiges à trois nœuds, plantées obliquement avec deux nœuds dans le sol et un nœud à l'air. L'écartement préconisé est de 40 x 40 cm. D'autres méthodes sont utilisées : plantation de boutures dans les sillons de labour (même écartement que précédemment) puis recouvrement manuel ou mécanique (disques) ; couverture du sol avec des tiges puis disquage mécanisé pour enfouir les boutures (Thaïlande, Sénégal). Les graines récoltées ne sont généralement pas fertiles et le semis est donc impossible.

Deux à trois binages sont nécessaires après l'installation, à deux semaines d'intervalle. La vigueur et la couverture du sol de cette plante empêchent les invasions par les adventices. Sa pérennité est assurée par sa capacité d'enracinement des tiges rampantes et une prairie bien entretenue peut durer plus de quinze années (Sénégal).

● La production

Le *Brachiaria* est essentiellement pâturé, mais peut être coupé pour l'affouragement à l'auge ou pour la fabrication de foin. Le rendement en matière sèche est évalué de 10 à 12 t/ha pendant la saison des pluies. En culture irriguée et fertilisée au Sénégal, des rendements de 20 à 25 t de MS par hectare et par an ont été obtenus.

C'est une plante très appréciée du bétail. Sa valeur fourragère est de 0,60 à 0,65 UFL et 60 g de MAD/kg de MS. C'est une des graminées tropicales les plus riches en MS (supérieure à 20 %).

L'HERBE DE RHODES

Chloris gayana Kunth

Anglais : Rhodes grass

Famille des Poaceae

● La plante et son environnement

C'est une graminée pérenne à port variable. Le *Chloris* peut être dressé, étalé ou stolonifère. Ses tiges sont fines. Il existe de nombreux cultivars. Originaire d'Afrique du Sud et de l'Est, son aire climatique s'étend en région tropicale sous une pluviométrie de 600 à 1 200 mm. Le *Chloris* est très souple du point de vue édaphique. Il peut supporter une inondation d'une quinzaine de jours et tolère les sols salés.

● La culture

La préparation du sol peut se réaliser par labour, disquage, hersage. La plantation peut être établie végétativement par éclats de souches ou par stolons plantés à 40 cm x 40 cm. Mais on sème plus fréquemment entre 0,5 et 1 kg/ha de graines germant à 100 %. À l'implantation, deux à trois binages sont souvent nécessaires à deux semaines d'intervalle. Une fois installée, la plante est vigoureuse et étouffe les adventices.

L'exploitation se fait par pâture ou par fauche. C'est une des meilleures graminée tropicale pour le foin, en raison en particulier de la finesse de ses tiges. Malgré sa vigueur, on peut associer *Chloris* à des légumineuses (*Stylosanthes* ou *Macroptilium*). La pérennité de la prairie peut dépasser cinq ans (Île de la Réunion). Le rendement moyen, sous pluie, est estimé à 7 à 15 t de MS/ha. En irrigué et avec une fertilisation, on peut dépasser les 20 t de MS. La valeur fourragère est de 0,63 UFL et 55 g de MAD/kg de MS.

LA LUZERNE DES CARAÏBES

Stylosanthes hamata (L.) Taub.

Anglais : Caraïbean lucerne

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une légumineuse annuelle ou pérenne selon la pluviométrie de la région et selon sa gestion. Le port est dressé à semi dressé, et la plante est parfois lignifiée à la base. Il existe plusieurs variétés cultivées : *cv Verano*, *cv Amiga*, *cv CIAT n°147*.

C'est une espèce originaire du bassin des Caraïbes et des Antilles, convenant aux zones de pluviométrie variant entre 500 et 1 300 mm. Très résistant à la sécheresse, il ne supporte pas l'inondation. Il supporte des sols variés mais de préférence sablo-argileux, drainant bien et à pH légèrement acide.

● La culture

En sol léger, une préparation du sol par simple disquage suffit. Dans un sol plus lourd, la préparation en culture mécanisée comprend, en général, un labour, un disquage et un hersage. Les doses de semis recommandées sont de 2 à 4 kg de graines décortiquées (sans enveloppes) germant à plus de 80 % ; le semis est fait en ligne ou à la volée. On préconise deux à trois sarclages à deux semaines d'intervalle, la plante étant installée. Des désherbages chimiques sont possibles, mais ne sont recommandés que pour une récolte de graines.

Linoculation par des rhizobium n'est pas nécessaire et il est possible d'associer le *stylosanthes* avec des graminées de taille moyenne : *Panicum maximum cv C1*, *Chloris gayana*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola*, *Cenchrus ciliaris*.

● La production

L'exploitation par fauche est possible, mais la hauteur de coupe doit se situer au-dessus de la lignification. Le rendement sous pluie est de l'ordre de 4 à 7 t de MS/ha et de 8 à 10 t de MS/ha et par an en irrigué. La valeur fourragère pour des repousses de 45 à 60 jours est de 0,60 à 0,80 UFL et 150 à 160 g de MAD pour de jeunes feuilles ; elle est de 60 à 71 g de MAD pour les tiges vertes.

Pour la production de semences, le *Stylosanthes* fleurit toute l'année avec un pic en fin de saison des pluies.

La date la plus propice pour la récolte est novembre ou décembre dans l'hémisphère Nord. La récolte peut se faire manuellement ou mécaniquement et les rendements sont de l'ordre de 10 à 20 kg/ha.

LE NIÉBÉ⁴

Vigna unguiculata L. Walp.

Anglais : cowpea

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une plante herbacée annuelle, généralement cultivée pour son grain et dont les fanes récoltées sont données aux animaux. Il existe cependant de nombreuses variétés, dont certaines sont plus fourragères : 58-74, 66-35, 60-1 *Bambey*, *Sénégal*. Le port est dressé ou étalé selon les variétés. Le cycle végétatif dépend des variétés. Par exemple, pour le cv 66-35, il faut 70 jours entre le semis et les premières graines mûres.

C'est une des herbacées les plus résistantes à la sécheresse. Son aire d'extension se situe entre 300 et 1 000 mm de pluie. Elle n'a pas de préférence stricte en matière de sol, mais celui-ci doit être bien drainé. Elle préfère cependant des sols légers, légèrement acides.

● La culture

Sur sols sableux, on peut faire une préparation du sol minimale (simple disquage). Sur des sols plus lourds, une préparation complète est nécessaire : labour, disquage, hersage. Le semis est réalisé à la dose de 20 à 40 kg /ha. La densité optimale pour la culture fourragère est de 200 000 pieds/ha et de 100 000 pieds/ha pour la production de semences (besoin de lumière et entretien plus facile). Le niébé nodule naturellement. Deux à trois sarclages sont nécessaires jusqu'à une couverture complète du sol.

● La production

Le niébé peut-être pâturé ou coupé pour le foin. Les rendements sont de 4 à 5 t de MS/ha en une saison des pluies. Le foin doit être récolté en début de floraison. La valeur fourragère est alors de 0,55 UFL et de 110 g de MAD, la digestibilité est de 57 % et l'ingestibilité de 90 g/kg de poids métabolique.

La production de semences doit être réalisée en début de saison sèche et la date de semis doit donc être calculée en conséquence. La récolte est manuelle et trois passages sont nécessaires. Les rendements sont en moyenne, de 750 kg /ha, mais on peut atteindre 1 500 kg avec certaines variétés. Le niébé apporte 60 à 80 kg d'azote après chaque culture.

⁴ Cf. chapitre 513.

LE POIS D'ANGOLE⁵

Cajanus cajan (L.) Millsp.

Français : pois d'Angole, ambrevade

Anglais : pigeon pea

Famille des Fabaceae

● La plante et son environnement

C'est une légumineuse semi-ligneuse, bisannuelle, pérenne transitoire, qui forme des buissons dressés de 2 à 4 m, ligneux à la base. Cette plante est très résistante à la sécheresse mais ne supporte pas les inondations même temporaires. Son aire d'extension se situe entre 300 et 2 000 mm de pluviométrie. Elle n'a pas de préférence stricte en matière de sol, mais celui-ci doit être bien drainé.

● La culture

Sur sols sableux, la préparation du sol peut être minimale (disquage, hersage). Sur sols plus lourds, un labour est nécessaire. Le semis nécessite de 5 à 10 kg de graines par ha. Il est réalisé en ligne, par poquet de deux à quatre graines, avec des écartements de 100 cm entre les lignes et de 50 cm sur la ligne. L'inoculation n'est pas nécessaire. Le sarclage est indispensable et commence quinze jours après le semis. Il est ensuite fait à la demande jusqu'à l'installation de la prairie. Le pois d'Angole peut être associé avec des cultures vivrières (sorgho ou maïs par exemple).

● La production

La plante peut être exploitée en pâture ou par émondage tous les deux ou trois mois dès qu'elle est adulte. La productivité est de 1,5 à 3,5 t MS/ha par coupe et la valeur azotée est de 100 à 120 g MAD/kg de MS.

La récolte des semences se réalise en début de saison sèche. Elle est effectuée manuellement et plusieurs passages sont nécessaires (environ trois). Les rendements en semence sont de l'ordre de 750 kg/ha mais peuvent atteindre 1500 kg avec certains cultivars. La fixation d'azote dans le sol peut s'élever à 60-80 kg de N fixé par ha et par an.

⁵ Cf. chapitre 513.

LE SORGHO FOURRAGER⁶

Sorghum bicolor L. Moensh

Anglais : sorghum

Famille des Poaceae

● La plante et son environnement

C'est une graminée annuelle à port dressé, donnant plusieurs talles à partir d'une seule graine. La tige principale peut dépasser 2,5 m de hauteur, notamment avec des variétés tropicales. Les variétés sont très nombreuses : sorgho grain (pour l'alimentation humaine), sorgho fourrager, sorgho sucré (pour ensilage ou sucre). La culture du sorgho s'étend des régions tropicales, dont il est originaire, jusqu'aux zones méditerranéennes et tempérées. La principale qualité du sorgho par rapport au maïs est sa résistance à la sécheresse.

● La culture

En culture pure mécanisée, la préparation du sol comprend, en général, un labour, un disquage et un hersage. Pour le semis, 30 à 40 kg de graines suffisent. Les écartements diffèrent selon la destination de la culture : pour un sorgho destiné à l'ensilage les écartements sont de 0,80 m entre les lignes et 0,30 m sur la ligne ; pour un sorgho destiné à l'affouragement en vert les écartements seront de 0,50 m entre les lignes et 0,20 sur la ligne. En principe, le sorgho ne se bouture pas. Deux sarclages sont nécessaires après plantation et un après chaque coupe. Le sorgho fourrager peut être associé avec le niébé et *Centrosema spp.*

● La production

L'exploitation peut être réalisée par coupe pour l'alimentation en vert des animaux ou pour l'ensilage. L'épaisseur des tiges rend difficile la fabrication de foin. Le pâturage est possible mais la présence d'une substance toxique pendant la croissance des jeunes repousses interdit son utilisation avant 60 cm de hauteur. Les rendements peuvent atteindre en irrigué 15 à 20 t de MS/ha avec huit à neuf exploitations par an. En saison des pluies, on peut espérer sans irrigation 10 t de MS/ha en trois ou quatre exploitations.

La valeur fourragère varie en fonction de l'âge de la repousse. On peut obtenir 0,80UF et 68 g de MAD/kg de MS après six à huit semaines de repousse. Pour la production de semences, la densité est inférieure à 200 000 pieds par ha. Pour la récolte, on coupe les panicules, on les fait sécher puis on les bat. On conserve les grains à l'abri de l'humidité. La récolte est possible à la moissonneuse-batteuse. Les rendements sont de l'ordre de 5 t/ha. Il ne faut pas utiliser comme semence les graines produites par des hybrides.

⁶ Cf. chapitre 511.

Bibliographie

- BULDGEN A. et DIENG A., 1997. *Andropogon gayanus var. bisquamulatus, une culture fourragère pour les régions tropicales*. Les presses agronomiques de Gembloux. 171 p.
- BOUDET G., 1984. *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. CIRAD-EMVT, Ministère de la Coopération. 266 p.
- CHANTEREAU J. et NICLOUD R., 1991. *Le Sorgho*. Collection « *Le technicien d'agriculture tropicale* » N° 18. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris. 159 p.
- KERRIDGE P.C., HARDY B. (édit). 1994. *Biology & Agronomy of Forage Arachis*. CIAT, Cali, Colombia, 209 p. (existe aussi en espagnol).
- MILES J.W., MAAS B.L. and DO VALLE C.B., with the collaboration of KUMBLE V., 1996. *Brachiaria : Biology, Agronomy, and Improvement*. CIAT. EMBRAPA. CIAT Publication N° 259. 288 p.
- RIPPSTEIN G. et al., Rapport RABAOC., 1998. (Réseau de recherches en alimentation du bétail en Afrique Occidentale et Centrale). *Rapport de synthèse N° 98-044*. CORAF, ILRI, CIRAD-EMVT, CIAT. 36 p.
- ROBERGE G. et TOUTAIN B. (Ed.), 1999. *Cultures fourragères tropicales*. CIRAD EMVT. Collection Repères. 369 p.
- SKERMAN P.J. (ed.) 1982. *Les légumineuses fourragères*. Collection FAO : production végétale et protection des plantes N°2. Rome. 666 p.
- T'MANNETJE L. et JONES R.M. (ed). (1992). *Plant Resources of South East Asia*. Forages N° 4. PUDOC Scientific Publishers, Wageningen. 301 p.
- TOUTAIN B., 1973. *Principales plantes fourragères tropicales cultivées*. Synthèse IEMVT N°3. (2^{ème} édition 1979). 201 p.

5 3

Les plantes à autres usages

- 5.3.1 Les plantes textiles**
- 5.3.2 Les plantes à caoutchouc**
- 5.3.3 Les plantes insecticides**
- 5.3.4 Les plantes médicinales,
cosmétiques, à parfum et à huiles**
- 5.3.5 Les plantes tannifères
et tinctoriales**

Les plantes textiles

À partir des contributions de M. Cretenet (CIRAD),
J.C Follin (CIRAD), B. Hau (CIRAD), C. Hekimian Lethève,
E. Jallas (CIRAD), A. Renou (CIRAD)

- > L'abaca
- > Le kenaf
- > La roselle
- > Le cotonnier
- > La ramie
- > Les rotins
- > Le jute
- > Le raphia
- > Le sisal
- > Le kapokier
- > Le rônier

LES PRINCIPALES FIBRES TROPICALES

● *La diversité des fibres tropicales*

● **Les principales familles botaniques**

Les fibres végétales proviennent de familles botaniques très diverses. On y trouve des plantes herbacées ou ligneuses, annuelles ou pérennes, des monocotylédones et des dicotylédones.

● **Les monocotylédones**

- > *Agavaceae* : sisal, henequen, fique, etc.
- > *Amaryllidaceae* : genre *Furcraea* dont le chanvre de Maurice
- > *Broméliaceae* : ananas
- > Graminées : alfa, sorgho, sparte, etc.
- > *Liliaceae* : phormium, aloé, yucca, etc.
- > *Musaceae* : abaca.
- > Palmiers : crins végétaux, doum, raphia, rotin, coïr, etc.

● **Les dicotylédones**

- > *Asclépiadaceae* : soie végétale (genre *Asclepia*)
- > *Bombacaceae* : kapok (genres *Ceiba* et *Bombax*)
- > Légumineuses : genêt, crotalaire, *Sesbania*, etc.
- > *Malvaceae* : cotonnier, kenaf, roselle, urena, etc.
- > *Sterculiaceae* : abrome
- > *Tilliaceae* : genre *corchorus* dont le jute
- > Urticales (*Urticaceae* et *Moraceae*) : ramie, mûrier à papier, chanvre, etc.

Cependant, pour une classification plus commode, on utilise habituellement deux critères : la partie du végétal qui donne naissance aux fibres et leur utilisation pratique.

● L'origine des fibres

Suivant la classification morphologique, on peut définir cinq grandes classes :

- > les fibres dont l'origine est dans l'épiderme des graines (coton) ou des parois internes des fruits (kapok). Chaque fibre est constituée d'une seule cellule longue et étroite ;
- > les fibres libériennes qui représentent la classe la plus importante des fibres végétales, hormis celle du cotonnier. Il s'agit des fibres du lin, du chanvre, du jute, du kénaf, de la roselle, de la ramie, etc. Ce sont des fibres longues, généralement composées de plusieurs cellules peu ou pas lignifiées, appelées également " fibres douces " ;
- > les fibres obtenues des feuilles et qui font partie du système vasculaire. Elles sont principalement représentées par le sisal et le chanvre de Manille (Abaca) ; on peut citer également le henequen, les *Furcraea* et le *Phormium tenax*. Ce sont des fibres longues lignifiées dites " fibres dures " ;
- > les fibres issues du bois d'arbres destinées à la production de pâte à papier ;
- > les fibres diverses comme celles issues de la gaine de la base des feuilles de palmiers, de l'enveloppe fibreuse de la noix de coco (coir), de la tige de certains sorgho, etc.

● L'utilisation des fibres

En se fondant sur leur utilisation, on peut regrouper les fibres végétales en six groupes :

- > les fibres textiles (coton, lin, ramie, jute, kénaf, etc.) ;
- > les fibres de corderie (sisal, abaca, henequen, etc.) ;
- > les fibres pour les tapis et les brosses (essentiellement la fibre de coco) ;
- > les fibres pour le rembourrage (kapok, crin végétal) ;
- > les fibres pour la pâte à papier (arbres) ;
- > les fibres diverses comme celles du raphia pour des liens, ou celles utilisées pour la fabrication de chapeaux (Panamas).

● Les caractéristiques physiques des fibres

La fibre botanique ou fibre élémentaire est constituée par une cellule allongée dont les parois cellululosiques sont plus ou moins lignifiées. La fibre technique ou fibre industrielle est le produit traité utilisé par l'industrie qui peut être constitué de la fibre élémentaire (coton, kapok, ramie) ou par plusieurs fibres élémentaires soudées entre elles.

Les fibres industrielles sont classées à partir de trois caractéristiques :

- > *indice de rigidité* : il est fonction du temps mis par une mèche pour retrouver une forme normale après une torsion de quinze tours. Il varie de 1,2 (lin) à 4 (cocos). A partir de 1,6 à 1,8, il faut assouplir pour le tissage (ensimage). Au-delà de 1,8 les fibres sont utilisées en corderie ;

- > *finesse ou numéro métrique* (Nm) : c'est le rapport de la longueur sur le poids. Plus il est élevé plus la fibre est fine ;
- > *longueur de rupture* : longueur d'une fibre ou d'un fil supposé indéfini qui se romprait sous son propre poids. Plus le chiffre est élevé, plus la fibre est résistante.

Tableau 1. Caractéristiques générales des principales fibres longues

	Fibres botaniques		Fibres techniques			
	<i>Diamètre (microns)</i>	<i>Longueur moyenne (mm)</i>	<i>Longueur moyenne (m)</i>	<i>Finesse (Nm)</i>	<i>Indice de rigidité</i>	<i>Longueur de rupture (km)</i>
Chanvre	20	28	1,2/2,2	200/250	1,4	55-65
Jute	18	2	1,5/2,5	250/300	1,6	30-35
Kénaf	18	8	1,2/1,8	100/300	1,8	30-35
Ramie	40/55	160	0,2/0,4	2000/2550	1,4	55-60
Sisal	24	2,5	0,5/1,0	30/35	2,3	45-55
Abaca	24	6	2,0/2,5	30/50	2,5	50-80
Cocos (coir)	20	0,7	0,1/0,3	15/20	4,3	15

L'ABACA

Musa textilis Nee

Français : abaca, chanvre de manille

Anglais : manila hemp

Espagnol : abaca

Famille des *Musaceae*

● La plante et ses utilisations

Le genre *Musa* comprend 60 à 80 espèces (dont le bananier) et toutes sont susceptibles de produire des fibres. Cependant seule l'espèce *Musa textilis* est cultivée pour une production organisée de fibres. Cette fibre appartient, comme celle du sisal, à la catégorie des fibres longues lignifiées, dites aussi fibres dures. Son élasticité et sa grande résistance à la rupture et à la corrosion par le sel en ont fait une fibre très utilisée pour les cordages de marine et les filets de pêche. Les fibres les plus courtes sont souvent utilisées pour la fabrication de papier, en particulier pour les billets de banque.

L'abaca est originaire des Philippines où il est cultivé traditionnellement pour la fibre. La culture a peu essaimé en dehors de cette zone, et l'Equateur est le seul autre pays où la production est importante. La culture de l'abaca demande des conditions tropicales humides strictes, avec des pluies abondantes réparties sur toute l'année, sans sécheresse excédant quatre à six semaines et une température moyenne de l'ordre de 27°C.

● La culture

La plante se présente sous la forme d'une touffe de dix à vingt pseudo-troncs pouvant atteindre 4 à 7 m.

De nombreuses variétés existent et sont choisies selon que l'on privilégie la production, le pourcentage de fibres, la précocité où la facilité d'extraction des lanières.

La plante se propage par bouturage de racines ou par la plantation de rejets.

L'exploitation commence après trois à quatre ans de culture : les pseudo-troncs arrivés à maturité sont coupés, débarrassés des feuilles et laissés à fermenter quelques jours. Les fibres sont obtenues par division des gaines en lanières et élimination du parenchyme par raclage manuel au couteau. Les opérations de défibrage sont généralement mécanisées, au moins partiellement. L'exploitation dure de sept à quinze ans, suivant les conditions et les variétés.

Aux Philippines, la plante est sensible à une mosaïque transmise par les pucerons et à la fusariose du bananier (*Fusarium oxysporum* var. *cubense*). En Amérique latine, les nématodes libres (*Pratylenchus musicola*) causent des dégâts. Le ravageur principal, dans toutes les zones de culture, est un insecte foreur de tige, *Cosmopolites sordidus*.

La production mondiale de chanvre de Manille est en décroissance lente, elle était en 1998 de 90 000 dont 65 000 t pour les Philippines et 23 000 t pour l'Équateur où la production, à l'inverse de la tendance générale, est en croissance régulière depuis 1970.

LE COTONNIER

Espèces : *G. herbaceum*, *G. arboreum*, *G. hirsutum*, *G. barbadense*

Anglais : cotton

Espagnol : algodón

Portugais : algodao

Famille des Malvaceae, Tribu : hibisceae, Genre : *Gossypium*

● Les utilisations du cotonnier

Le cotonnier produit une fibre, le coton (ou *lint*), qui est une cellule très allongée du tégument de sa graine, recouverte de cellulose. Cette fibre est utilisable en filature puis en tissage dans l'industrie textile. En pharmacie, elle sert à la confection de l'ouate hydrophyle.

Le tégument de la graine peut porter également des poils très courts (dénommés duvet, ou *linter*) qui ne sont pas séparés de la graine au moment de l'opération de transformation du coton-graine (égrenage). Ces fibres courtes, qui doivent être récupérées par un procédé supplémentaire (délintage mécanique), servent de matière première à l'industrie chimique de la cellulose (vernis, celluloid, nitro-cellulose, etc.).

L'amande de la graine est riche en huile et en protéines : après élimination du gossypol, composé toxique, les graines fournissent une huile alimentaire de très bonne qualité. Les tourteaux sont généralement utilisés dans l'alimentation des ruminants. Lorsqu'ils proviennent des variétés dépourvues de gossypol (variétés *glandless*), ils peuvent être utilisés pour l'alimentation des animaux monogastriques ou transformés en farines, concentrats ou isolats de protéines, pour l'alimentation humaine. La protéine des graines de coton pourrait être également utilisée dans la fabrication de films biodégradables : emballage, plastisemis, peaux artificielles.

La coque de la graine sert de combustible pour la production d'énergie électrique.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine et la diversification des espèces**

Les cotonniers appartiennent au genre botanique *Gossypium* L. qui comprend une quarantaine d'espèces diploïdes ($2n = 2x = 26$) et six espèces tétraploïdes ($2n = 4x = 52$). À partir d'études cytologiques et botaniques, les espèces diploïdes ont été regroupées en sept classes génomiques, baptisées de A à G. Ces espèces sont en général inféodées à des écosystèmes tropicaux arides ou semi-arides. Seules quatre espèces ont été domestiquées et sont cultivées pour leur fibre : deux diploïdes de génome A, *G. herbaceum* et *G. arboreum*, et deux tétraploïdes de génomes AD, *G. hirsutum* et *G. barbadense*. *G. hirsutum* assure 90 % de la production mondiale de coton. *G. barbadense*, cotonnier à qualité de fibre supérieure (soies longues et fines) assure un peu plus de 5 % de la production. Les deux espèces diploïdes *G. herbaceum* et *G. arboreum* représentent ensemble moins de 5 % de la production et leur fibre, courte et épaisse, n'est utilisée qu'artisanalement.

Les centres de diversification des espèces de cotonnier sont la presqu'île du Yucatan (Mexique et Guatemala) pour *G. hirsutum*, les contreforts andins de l'Equateur et du Pérou pour *G. barbadense*, et le Sud de l'Afrique pour *G. herbaceum*, cette espèce ayant été domestiquée probablement dans le Sud de l'Arabie. *G. arboreum* serait apparu au moment de l'extension de *G. herbaceum* vers l'Inde. Les origines géographiques de ces espèces ont valu les dénominations de *cotonniers de l'ancien monde* aux types diploïdes et *cotonniers du nouveau monde* aux tétraploïdes.

Les premiers cotonniers cultivés étaient photopériodiques et conduits de façon pérenne. Le développement des formes modernes, annuelles et insensibles à la photopériode, a permis l'extension de la culture dans des zones plus septentrionales.

● **La morphologie**

Le cotonnier est une plante arbustive. Sa partie aérienne est constituée d'une tige principale à croissance continue (monopodiale) qui émet deux types de rameaux : à la base de la plante, des branches végétatives, à croissance monopodiale, qui ne portent pas directement de capsules mais émettent des rameaux secondaires fructifères ; au-dessus, des branches fructifères à croissance discontinue (sympodiale), qui portent des capsules. Suivant les espèces, les variétés et les conditions d'environnement, la part de la production de coton-graine portée par ces deux types de branches est variable.

● **La croissance et le développement**

Le cotonnier est une plante à croissance indéterminée, c'est-à-dire qu'il installe des fruits (capsules) en même temps qu'il assure sa croissance végétative. Il en résulte une compétition au cours de la croissance pour l'allocation des produits de la photosynthèse entre le développement reproducteur et le développement végétatif. Au fur et à mesure que la plante avance en âge, les organes reproducteurs mobilisent de plus en

plus d'assimilats jusqu'à ce que le développement végétatif s'arrête pour permettre la maturation complète des capsules. Ce stade est désigné par le terme de *cut out*.

Pour décrire la croissance du cotonnier, on distingue quatre étapes (les chiffres entre parenthèses indiquent les fourchettes de durée observables chez *G. hirsutum*) :

- > le stade de la levée, du semis à l'étalement des cotylédons (six à dix jours en conditions normales d'humidité) ;
- > le stade végétatif, de la plantule jusqu'à l'ouverture de la première fleur (de quarante à soixante jours) ;
- > le stade reproductif, du début de la floraison jusqu'au *cut out* (de quarante à cinquante jours) ;
- > le stade de maturation, du *cut out* à la fin de l'ouverture des capsules (cinquante à quatre-vingt jours).

Pour déterminer la date du *cut out*, la technique la plus usitée est de suivre l'évolution du nombre de nœuds au dessus de la dernière fleur blanche en première position des branches fructifères. Lorsque ce paramètre est égal à cinq (ou quatre en cas de traitement avec des régulateurs de croissance), on estime que le *cut out* est atteint. L'ouverture des capsules commence environ quinze à vingt cinq jours après le *cut out*.

● Les variétés

L'autogamie est prépondérante chez le cotonnier. La structure variétale habituellement sélectionnée est donc la lignée pure. L'allogamie étant possible et des effets d'hétérosis pouvant être mis en évidence, des hybrides réalisés manuellement sont proposés dans certains pays à faible coût de main-d'œuvre (Inde, Vietnam).

La longueur du cycle, les caractéristiques morphologiques (port, pilosité, forme et couleur des feuilles et des capsules, taille des graines et présence de glandes à gossypol), les résistances aux maladies, le potentiel productif et les principales caractéristiques technologiques (rendement égrenage, longueur, ténacité, finesse) sont utilisés pour décrire les variétés.

Les variétés cultivées de *G. hirsutum*

Elles produisent une soie de longueur moyenne à importante (entre 27 et 32 mm) et ont une durée de cycle allant de 120 à 180 jours. Leur base génétique est étroite. La plupart des variétés modernes sont issues de croisements entre variétés d'origine américaine à deux exceptions près : les sélections réalisées en Afrique et en Inde qui ont croisé les sélections américaines avec des formes dispersées au 17^{ème} siècle (types *N'Kourala* en Afrique de l'Ouest, type *Cambodia* en Inde). Dans les années 50, le recours à l'hybridation interspécifique a élargi également la base génétique (croisements HAR, ATH). Il existe aujourd'hui probablement plus de 200 variétés cultivées de *G. hirsutum* de par le monde.

Aux Etats-Unis, elles sont classées suivant leur précocité :

- > très précoces : *DP20, Mac Nair 220, Ston 907, Tamcot, Coker* ;
- > moyennement précoces : *DES119, DP51, Mac Nair 235, Ston 453* ;
- > tardives : *DP5415, DP5690, DP90, Types Acala*.

Bien que le développement du cotonnier soit par nature de type indéterminé, les Américains distinguent les variétés à cycle déterminé qui marquent une pause de croissance nette au moment du *cut out* (*DP50*, *DP20*, *DP51*), des variétés à cycle indéterminé qui marquent une pause moins perceptible (*Mac Nair 220*, *Mac Nair 235*, *DP5415*, *DP90*). En Europe, des variétés très précoces ont été créées : *Pavlikeni73*, *Beli Izvor*.

En Afrique de l'Ouest et du Centre, les variétés sont pileuses, de type tardif, à cycle indéterminé, avec des branches végétatives relativement développées (*STAM 18*, *STAM 42*, *F 135*, *IRMA BLT-PF*, *NTA 88-6*). Utilisant le même germplasm africain, des sélections en Amérique du Sud ont abouti à des types moins végétatifs et plus précoces (*GUAZUNCHO 2*, *CHACO 520*, *LAN 338*, *CD 401*, *CA 222*, *CA 223*, *CA 331*) et d'autres en Asie du Sud-Est à des variétés supportant le manque d'ensoleillement (*SSR60* en Thaïlande).

Certains caractères particuliers ont été introduits dans des variétés cultivées, tels les caractères *Okra* (feuilles très découpées) en Australie (*Si Okra L22*, *Si Okra L23*), *necta - riless* aux Etats-Unis (*Ston 825*, *Ston 907*) ou *glandless* en Afrique (*GL7*).

Depuis 1996, des variétés transgéniques confèrent de nouvelles propriétés de résistance à des insectes ou des herbicides (*Bollgard®*, *Roundup Ready® de Monsanto*, *BXN® de Calgene*). La sélection moderne vise aujourd'hui à créer des cotonniers à cycle plus court et à meilleur indice de récolte (pourcentage du poids de coton graine rapporté au poids de la biomasse).

Les variétés cultivées de *G. barbadense*

Elles fournissent les plus beaux cotons. Ceux-ci sont généralement destinés à des usages particuliers (bonneterie, produits de luxe). Elles se distinguent de *G. hirsutum* par un cycle plus long (180 à 230 jours), des feuilles plus grandes aux lobes plus échancrés, des pétales jaunes possédant une macule rouge à leur base et des graines nues (sans linter).

Les variétés *Sea Island* des Barbades sont celles qui produisent la fibre la plus longue (supérieure à 40 mm). Les variétés de type Egyptien (*GIZA 75*), cultivées avec irrigation dans les zones désertiques, fournissent une fibre classée extra longue et très fine. Les types *Tanguis* cultivés au Pérou possèdent des fibres longues associées à de fortes maturités et de faibles finesses. Les types *Pima*, sélectionnés aux Etats-Unis en introgressant *G. barbadense* avec des variétés de *G. hirsutum* ont permis de raccourcir le cycle (*PIMA S6* type précoce). Dans le Nordeste du Brésil, les cotonniers *Moco*, cultivés de façon pérenne, sont probablement issus aussi d'hybridations interspécifiques naturelles avec des types *Marie Galante* de *G. hirsutum*.

Les variétés cultivées des espèces diploïdes *G. herbaceum* et *G. arboreum*

Elles fournissent une fibre courte (20 à 23mm) et épaisse. Elles ont fait l'objet de peu de travaux de sélection et résultent souvent de germplasmes conservés par les agriculteurs eux-mêmes (types *Boumi* pour *G. herbaceum*, types *Desi* pour *G. arboreum*). Une sélection sur *G. arboreum* en Inde a produit de nouveaux cultivars parvenant au niveau des *G. hirsutum* les plus courts.

● L'écologie du cotonnier

● La température

La croissance végétative et le développement des organes reproducteurs sont fortement influencés par la température. Le rythme d'apparition des organes est généralement exprimé suivant une échelle de somme de températures au cours du cycle de production. On peut ainsi définir les besoins moyens en somme de températures pour que le cotonnier accomplisse son cycle.

La somme des degrés-jours (DJ)

Elle représente la somme des différences quotidiennes entre la température moyenne et la température à laquelle le cotonnier arrête sa croissance (13°C). Elle se calcule selon la formule :

$$DJ = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - 13 \right), \text{ avec } DJ > 0.$$

Par exemple, pour *G. hirsutum* en base 13°C :

- levée : 35 à 40 DJ ;
- du semis à la première fleur : 530 à 650 DJ ;
- de la première fleur à la première capsule ouverte : 600 à 750 DJ ;
- cycle complet : 1 450 à 1 600 DJ.

Le cotonnier aime la chaleur mais il peut être acclimaté partout où le nombre de jours sans gelée est supérieur à 200 et où la somme de températures en été est suffisante. On le trouve ainsi dans la zone tropicale (Amérique du Sud et Centrale, Afrique, Inde, Pakistan, Asie du Sud-Est), dans les zones désertiques où une irrigation peut être apportée (Moyen Orient, Asie centrale), et jusque dans les zones tempérées (Etats-Unis, Chine, Europe). Il est ainsi cultivé sur une très vaste zone allant du 47^{ème} degré de latitude Nord (Sin-Kiang en Chine) au 32^{ème} degré de latitude Sud en Australie.

● L'eau

L'alimentation en eau est un facteur important de la croissance du cotonnier. Les besoins en eau du cotonnier sont d'au moins 500 mm durant la saison de culture. Le déficit hydrique perturbe moins le développement reproducteur et la croissance des capsules que l'expansion foliaire, la rétention des organes reproducteurs et la croissance végétative. Il peut avoir une influence négative sur la qualité de la fibre.

Le cotonnier est très sensible à l'anoxie et un excès d'humidité peut être particulièrement néfaste. Des périodes trop longues d'humidité relative supérieure à 90 % peuvent affecter la fécondation et provoquer d'importantes chutes de rendement. Un mauvais drainage ou l'inondation des parcelles sont à éviter.

● L'ensoleillement

L'ensoleillement est un facteur primordial de développement de la culture, surtout au cours de la phase de développement du système reproducteur : une réduction même légère de l'ensoleillement a un effet défavorable sur la croissance et la rétention des organes reproducteurs. L'activité photosynthétique maximale correspond à 30 MJ/m²/jour, alors que les valeurs enregistrées par exemple au Mali en août-septembre sont de l'ordre de 20 à 22 MJ/m²/jour.

● **Le sol**

Le cotonnier préfère les sols homogènes, profonds, perméables et riches en éléments minéraux majeurs et secondaires (S, Mg) et en oligoéléments (B, Zn). Le pH optimum des sols se situe entre 6 et 7 et ne doit pas être inférieur à 5. Le cotonnier s'accommode des sols salins, surtout *G. barbadense*. Cependant au-delà d'une concentration en sel de 2/1000 le rendement est affecté.

● **La culture du cotonnier**

● **Les grands systèmes de culture**

Il existe tous les niveaux d'intensification possible, de la monoculture complètement mécanisée avec apport important d'intrants dans le cadre d'exploitations de grande taille, jusqu'à l'agriculture familiale de petite taille, où les opérations culturales sont complètement réalisées à la main ou avec la traction animale, avec un apport limité d'intrants.

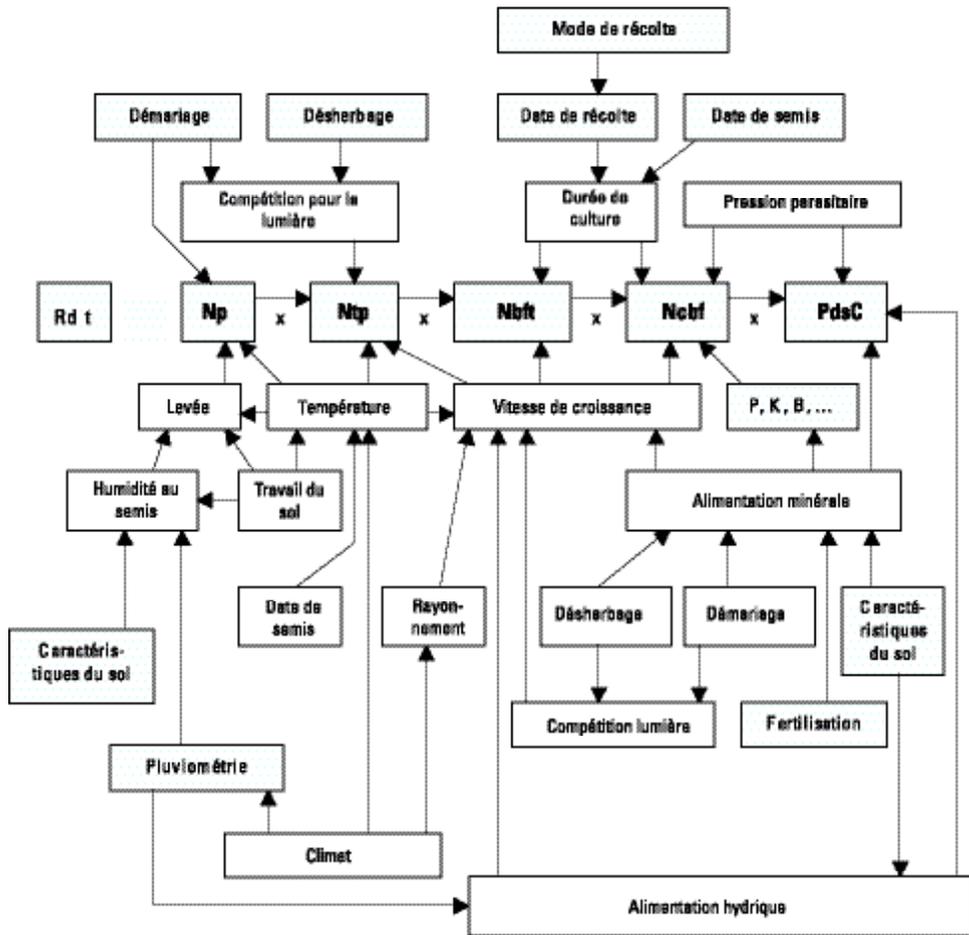
La culture peut être irriguée ou pluviale. L'irrigation est le mode de culture dominant dans la plupart des grands pays producteurs : 30 % des surfaces sont irriguées en Inde, 43 % aux Etats-Unis, 75 % en Chine. Au total, l'irrigation concerne 53 % des surfaces cotonnières et participe pour 73 % de la production.

En Afrique sub-saharienne, comme en Inde, au Pakistan et en Chine, le cotonnier est cultivé par de petits paysans, en rotation avec des cultures vivrières qui valorisent l'arrière-effet des engrais. La culture est parfois conduite en association ou en relais avec d'autres productions (maïs, arachide, niébé, soja) en Afrique (Togo, Tanzanie) ou en Asie (Vietnam, Chine).

● **L'élaboration du rendement et l'itinéraire technique**

Pendant la phase strictement végétative, les produits de la photosynthèse sont prioritairement destinés aux racines. Pendant la phase reproductive, l'allocation aux organes reproducteurs devient prioritaire. Toutefois les stress subis par la plante perturbent cette règle.

Le caractère indéterminé de la croissance du cotonnier et cette faculté de régler la physiologie en fonction des facteurs externes rendent le schéma d'élaboration du rendement du cotonnier plus complexe que ceux des céréales. Le potentiel de production des variétés actuelles varie de 8 000 kg/ha de coton-graine en conditions irriguées à 3 500 kg/ha en conditions pluviales.



Avec :

Rdt = le rendement en coton-graine à l'unité de surface

Np = le nombre de plants à l'unité de surface

Ntp = le nombre moyen de tiges végétatives par plant

Nbft = le nombre moyen de branches fructifères par tige végétative

Ncbf = le nombre moyen de capsules par branche fructifère

PdsC = le poids moyen d'une capsule

► Figure 1 : Schéma d'élaboration du rendement chez le cotonnier

● La mise en place de la culture

En régime pluvial, elle est souvent décidée en fonction de la date d'ouverture des capsules, celle-ci devant s'effectuer en période sèche. En Afrique, des dates optimales de semis ont été établies à partir des statistiques pluviométriques. On estime à 350 kg/ha la baisse du potentiel de production associée à un retard de dix jours dans le semis par rapport à la date optimale.

Le semis est manuel ou mécanique, sur billon ou à plat, en poquets ou en ligne continue. Le semis mécanique suppose une graine débarrassée de son linter (semence délintée). Les quantités de semences peuvent varier de 25-30 kg/ha (semis manuel, graines non délintées) à 10-12 kg/ha (semis mécanique, graines délintées). La plupart des semis sont réalisés sur un sol nu, bien préparé (labour avec enfouissement des adventices et herbicidage en pré ou post-semis), mais certains semis se réalisent sur couvert végétal préalablement traité avec un herbicide.

Les densités sont très variables selon la variété, la richesse du sol et les conditions de culture (de 30 000 à 100 000 plants à l'hectare en culture cotonnière classique). Pour faciliter les opérations d'entretien, la culture est généralement semée en lignes espacées de 0,70 à 1 m. En semis manuel, le cotonnier est semé en poquets espacés de 20 à 25 cm. En semis mécanique, les graines sont semées avec un espacement de 10 à 15 cm sur la ligne. Le resemis après la levée est une pratique très répandue en culture manuelle.

Les systèmes *narrow row cotton* et *ultra narrow row cotton* pratiqués expérimentalement aux Etats-Unis correspondent à des densités de semis supérieures à 250 000 plants/ha. Ils sont pratiqués dans le cadre d'une agriculture très mécanisée (semis à la volée, récolte à la barre de coupe), dans le but de réduire les coûts de production en contraignant la plante à réduire la durée de son cycle (pas d'urée, application de régulateurs de croissance). Le faible développement de chaque plante est compensé par le nombre de plants à l'hectare.

● **L'entretien**

La concurrence des adventices est particulièrement néfaste pendant les six premières semaines de végétation. Deux à trois sarclages sont nécessaires avant que la canopée du cotonnier ne recouvre entièrement le sol et empêche naturellement le développement des adventices. L'utilisation d'herbicides, le plus souvent de post-semis et pré-levée, mais parfois de pré-semis et pré-levée, est une pratique qui progresse chez les petits producteurs.

En culture manuelle, on procède trois semaines après levée (stade quatre vraies feuilles) à un démariage des poquets pour n'y laisser que deux plants. Les semis réalisés mécaniquement peuvent également être éclaircis manuellement ou par un passage avec une herse perpendiculaire à la ligne de semis dans le cas où la densité sur la ligne est trop forte.

● **La fertilisation**

Les apports d'azote sous forme d'engrais minéraux varient de 40 à 100 kg N/ha, ils doivent être raisonnés en fonction de la richesse organique du sol et de l'objectif de production. Ces apports sont en général fractionnés : un apport lors de la préparation du sol, un apport peu avant la floraison. L'azote favorise le développement des organes végétatifs de la plante, supports ultérieurs de la fructification. Un apport trop tardif peut contrarier la mise à fruit et provoquer un allongement du cycle.

La plupart des sols des savanes cotonnières d'Afrique sont naturellement carencés en P, que le soufre y est très souvent bloqué sous forme organique lors de leur mise en culture et que les conséquences d'une déficience en bore sont trop importantes pour prendre le risque de ne pas introduire ces éléments dans les apports minéraux.

Aussi les engrais coton sont généralement riches en P_2O_5 et ils contiennent très souvent du soufre et du bore.

Les exportations minérales (récoltes et résidus de culture) du cotonnier et des cultures en rotation sont en général bien supérieures aux apports de la fertilisation. Aussi, les anciennes zones de production cotonnière présentent bien souvent des symptômes de déficiences minérales (K, Mg, Ca...). Pour le potassium, ces symptômes sont très caractéristiques : feuilles desséchées et pendantes restant accrochées par leurs pétioles, comme des chauve-souris au repos, petites capsules dites momifiées, qui s'ouvrent incomplètement. La définition d'apports minéraux optimaux ne peut se faire qu'au niveau de la parcelle, en fonction du système de culture pratiqué et des objectifs de production.

La fertilisation organique est importante : apports d'azote et de potassium, équilibre biologique et maintien de la structure des sols. Elle correspond essentiellement à des apports de fumier, de compost ou de terre de parc. Les engrais verts et les cultures améliorantes ne sont que rarement pratiquées.

● L'irrigation

L'eau est apportée au cotonnier par gravité, par un système de bassins (65 % des surfaces irriguées de par le monde) ou de canaux (29 %), ou par aspersion (5 %). Le goutte à goutte concerne encore moins de 1 % des surfaces irriguées.

● La défense des cultures

C'est l'un des facteurs qui conditionne la réussite de la culture, tant le cotonnier est l'objet d'attaques parasitaires. Un certain nombre d'échecs de la culture cotonnière (en Amérique centrale et dans certains pays du Sud-Est asiatique en particulier) sont liés à une maîtrise insuffisante ou trop coûteuse des attaques parasitaires.

Les principales maladies et les groupes d'arthropodes dont l'incidence est significative sur la production figurent dans les tableaux suivants.

Tableau 2. Les principales maladies du cotonnier

Maladies	Symptômes	Lutte
<i>Rhizoctonia, Pythium, Macrophomina</i>	Fonte des semis	Enrobage des graines avec un fongicide
Bactériose (<i>Xanthomonas malvacearum</i>)	Taches anguleuses foliaires, nécroses sur tiges et capsules	Résistance variétale
Ramulose (<i>Colletotrichum sp.</i>) (Amérique du Sud)	Taches jaunes sur feuilles, rameau terminal en « balai de sorcières »	Résistance variétale
Maladies virales (Mosaïque, Maladie bleue, Virescence...)	Mosaïques, déformation des feuilles (frisolée) ou des fleurs (phylodie)	Résistance variétale
Maladies vasculaires (Fusariose, Verticilliose)	Jaunissement du feuillage, puis flétrissement du plant, brunissement et obturation des tissus conducteurs	Résistance variétale, rotations culturales

Tableau 3. Les ravageurs du cotonnier

Ordre	Genre	Dégats	Lutte
Lépidoptères	<i>Helicoverpa</i> (Heliiothis), <i>Pectinophora</i> , <i>Earias</i> , <i>Diparopsis</i> , <i>Cryptophlebia</i>	Destruction totale ou partielle des organes fructifères	Chimique pour l'essentiel Transgénèse
Lépidoptères	<i>Spodoptera</i> , <i>Trichoplusia</i> , <i>Anomis</i> , <i>Alabama</i> , <i>Syllepta</i>	Réduction de la surface foliaire	Chimique et biologique
Homoptères	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Bemisia tabaci</i>	Prélèvements de sève, transmission de viroses et production de miellats	Culturale
Homoptères	Jassides : <i>Empoasca sp.</i> , <i>Orosius sp.</i>	Prélèvements de sève	Résistance variétale
Hétéroptères	Mirides (<i>Lygus sp.</i>) et punaises (<i>Dysdercus sp.</i>)	Chute d'organes et pourritures de capsules	Chimique
Coléoptères	<i>Anthonomus</i>	Destruction des organes fructifères	Culturale
Coléoptères	<i>Eutinobothrus</i> , <i>Conotrachelus</i>	Mineurs de la tige	Chimique

On a longtemps pensé que la lutte chimique permettrait, à elle seule, de tenir en échec le complexe parasitaire. Du fait des problèmes actuels (coût de la protection, destruction de l'entomofaune utile, apparition de résistances aux pesticides, problèmes de pollution et de santé humaine), tous les spécialistes reconnaissent aujourd'hui que la culture cotonnière doit être conduite selon les principes de la protection intégrée.

Il faut ainsi :

- > prévenir les dommages, en échappant au parasitisme par le choix de la date de semis, en raccourcissant le cycle de fructification du cotonnier, en supprimant les cultures relais ou refuge des principales espèces nuisibles, en introduisant dans les cultivars des caractères de résistance aux ravageurs dominants. On doit également encourager toutes les pratiques qui, au travers d'actions sur le micro-climat ou la biodiversité, encouragent le développement d'entomophages et d'agents pathogènes des ravageurs ;
- > estimer le caractère menaçant des populations de ravageurs présentes dans la culture, ce qui suppose des méthodes d'échantillonnage fiables et une estimation des seuils au delà desquels surviennent les pertes de récolte ;
- > intervenir en fonction de ces seuils, en prenant garde à maintenir la durabilité du système (prévention de la résistance aux pesticides, respect des équilibres entre espèces nuisibles et entomofaune utile).

Le principe de la lutte étagée ciblée sur la culture de cotonnier est présenté dans le chapitre 436.

● La récolte

Dans de très nombreux pays, la récolte du coton-graine reste manuelle. Les quantités récoltées par individu varient de 20 à 50 kg par jour. Une attention particulière doit être apportée au moyen de collecte (panier, sac), en évitant en particulier les sources de contamination par des fibres synthétiques (polypropylène des sacs d'engrais par exemple).

La récolte mécanique suppose la culture de variétés possédant des branches végétatives peu développées et permettant une production groupée. Elle est pratiquée souvent après une activation chimique de l'ouverture des capsules (maturateurs) et une défoliation (défoliants). Du fait de la présence de feuilles et de débris végétaux, les usines d'égrenage doivent s'équiper de nettoyeurs puissants. Le modèle de machine le mieux adapté à la récolte du coton est le *cotton picker*, où des broches n'extirpent que le coton mûr, au contraire du *cotton stripper*, qui récolte en une fois toutes les capsules présentes.

● Les temps de travaux

Tableau 4. Temps de travaux sur cotonnier dans les petites exploitations agricoles africaines (en jours/ha)

	Culture manuelle	Culture attelée	Culture semi-motorisée
Préparation du sol	15-20	8	2
Semis	5-10	5	5
Sarclage-démariage	30-35	21	2
Traitements	6-10	8	8
Récolte	50-60	60	60
Arrachage	6-10	8	8
Total	112-145	110	85

● La fibre de coton

● Les caractéristiques techniques

Pour évaluer les caractéristiques technologiques de la fibre de coton, il est impératif de respecter des normes précises en matière de conditionnement d'air des salles d'analyse et de stockage ($21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 65 % d'humidité relative ± 2 %).

Les principales caractéristiques mesurées sont :

- > la longueur ;
- > la ténacité, caractère important car de lui dépend majoritairement la résistance des fils et des textiles ;
- > la maturité ;
- > la finesse, caractéristique variétale, mais influencée par les conditions de culture. Il est difficile de la dissocier de la maturité ;
- > le micronaire, paramètre qualitatif qui mesure le complexe maturité/finesse ;
- > le grade, qui se décompose en trois caractéristiques : la couleur, le taux de matières étrangères et la préparation : évaluation de l'importance de l'enchevêtrement indésirable des fibres ;
- > les contaminants : collage dû à la présence de sucres d'origine physiologique ou entomologique dans la fibre et débris de coques de graine.

● L'égrenage et le classement

L'égrenage consiste à séparer la fibre des graines qui les portent. Cette opération met en œuvre une série d'opérations réalisées par des machines différentes : nettoyeur de coton-graine, tour de séchage, humidificateur, égreneuse (sépare la fibre de la graine), nettoyeur de fibre, presse à balle (pour compacter la matière sous forme de balle d'environ 225 kg).

Il existe deux types d'égreneuses :

- > *égreneuse à rouleau* : réservée aux fibres longues à extra-longues ;
- > *égreneuses à scies* : elles sont plus productives et sont utilisées pour tous les autres cotons.

Lors du pressage des balles, des échantillons de fibres sont prélevés, pour une caractérisation de leur qualité dans des laboratoires d'analyse, afin de regrouper les balles de qualité comparable par lots. Chacun des lots est susceptible de recevoir des primes ou des décotes financières, en fonction de sa qualité lors de sa mise en vente sur le marché.

● La production actuelle et ses perspectives

Après avoir progressé régulièrement pendant des décennies, la production mondiale de fibre est restée relativement stable (environ 19 millions de tonnes) depuis dix ans. De même, la superficie totale consacrée à la culture cotonnière s'est stabilisée entre 30 et 35 millions d'hectares. Les deux tiers de cette superficie sont concentrés dans quelques pays : Inde (28 %), Etats Unis (13 %), Chine (13 %), Pakistan (10 %) et Ouzbekistan (5 %), qui sont les cinq principaux pays producteurs. Plus de 60 autres pays sur les cinq continents sont producteurs de coton.

Les échanges de coton sur les marchés mondiaux concernent chaque année 5 à 6 millions de tonnes de fibre. Les Etats-Unis sont les premiers exportateurs du monde, suivis de l'Ouzbekistan et des pays d'Afrique francophone.

Les meilleurs rendements du monde sont obtenus sous irrigation, dans des systèmes intensifs comme en Israël (1 475 kg/ha de fibre) et en Australie (1 350 kg/ha de fibre). En culture pluviale, les sols volcaniques de l'Amérique centrale sont les seuls qui permettent d'atteindre la tonne de coton-fibre par hectare. La moyenne mondiale est de 544 kg/ha en 1998-99. Les rendements en Afrique de l'Ouest dépassent aujourd'hui 500 kg de fibre/ha.

Culture de rente pour les petits paysans, fournissant une matière première industrielle stratégique, la culture du cotonnier a souvent été soutenue par les pouvoirs publics. Dans le contexte de libéralisation mondiale de l'économie, cette aide de l'Etat a progressivement disparu au cours de la décennie 90 (suppression des subventions, privatisation des filières parapubliques, réorganisation de l'encadrement). Cette évolution a eu pour conséquence de diminuer l'attrait économique de la culture et d'inciter les paysans à moins recourir aux intrants.

● La recherche

Les questions qui se posent à la recherche aujourd'hui sont de permettre une culture de cotonnier la plus rentable possible, d'élaborer des recommandations compatibles

avec les contraintes des paysans et soucieuses du respect des équilibres écologiques. Pour atteindre ces objectifs, les chercheurs ont à leur disposition des outils nouveaux : biotechnologies, logiciels de modélisation du développement de la plante, gestion phytosanitaire intégrée, interdisciplinarité, nouveaux moyens de diffusion de l'information, etc.

Tous les pays qui ont une production de coton significative ont leur propre structure de recherche cotonnière. Il n'y a pas d'organisme international chargé de la recherche cotonnière.

Les structures de recherche

L'ICAC (International Cotton Advisory Committee) coordonne, tous les quatre ans, une réunion internationale des chercheurs cotonniers de tous les pays du monde. Le CIRAD (Centre international de recherches agronomiques pour le développement) a depuis plusieurs décennies développé une compétence dans l'ensemble de la zone tropicale. L'initiative récente du Forum global de la recherche (GFAR) pourrait déboucher sur une concertation mondiale de la recherche cotonnière autour de sujets fédérateurs.

LE JUTE

Corchorus capsularis L. et *Corchorus olitorius* L.

Anglais : jute

Espagnol : yute

Famille des Tiliaceae

● La plante et ses utilisations

Le jute est après le coton la fibre végétale la plus utilisée dans le monde. Elle appartient à la catégorie des fibres longues non lignifiées (fibres douces) et sert à la fabrication de fils, de cordes, de sacs d'emballage et de toiles pour l'ameublement.

Deux espèces concourent à sa production : *Corchorus capsularis* L., dont l'origine se situe dans la péninsule indo-birmane et *Corchorus olitorius* L., dont l'origine serait africaine. Ces deux espèces se distinguent principalement par la forme du fruit (oblong chez *C. olitorius* et sphérique chez *C. capsularis*) et la qualité de la fibre qui est plus blanche, résistante et fine chez *C. olitorius* (*white jute*) que chez *C. capsularis* (*Tossa jute*). Cette dernière variété reste cependant l'espèce la plus cultivée, à cause de sa rusticité et en particulier à cause de sa résistance à l'inondation. Chaque espèce a bénéficié d'importants travaux de sélection, en particulier au Bangladesh dès le début du siècle (série des variétés *JRC*), et de nombreuses variétés sont disponibles. Des hybrides interspécifiques entre les deux espèces ont été réalisés mais sans aboutir à la création de variétés commerciales.

Les deux espèces sont photopériodiques et à dominance autogame. Elles mesurent à maturité, après 120 à 150 jours de croissance, de 2 à 4 m de hauteur. Les tiges sont peu ramifiées et les feuilles sont oblongues, alternes, glabres et dentelées, de 5 à 10 cm

de longueur. La culture demande des températures supérieures à 25°C et une pluviosité de l'ordre de 1500 mm pendant la période de culture, ce qui la limite aux zones tropicales humides.

● La culture

Compte tenu du photopériodisme, la culture doit être implantée le plus tôt possible, c'est-à-dire en mai dans l'hémisphère Nord. La densité recommandée pour la fibre est de 400 à 500 000 pieds à l'hectare, de 150 à 200 000 pour la production de graines. La récolte pour la fibre se fait en début de floraison : les tiges sont coupées puis soit mises en botte dans un point d'eau soit laissées sur le champ lorsqu'il est inondé. Ce rouissage dure une quinzaine de jours. La pratique de rouissage au champ présente l'avantage de restituer au sol la majeure partie des éléments du végétal (feuilles et tiges à l'exception des fibres corticales). Les rendements en fibre sont de 1,5 à 2,5 t/ha ; ils peuvent dans de bonnes conditions atteindre 4 t/ha. Pour la semence, ils sont de l'ordre de 5 à 600 kg/ha.

Les maladies principales sont les fontes de semis et les chancre de tige dûs à *Macrophomona phaseoli* (Maubl.) Ashby et à *Colletotrichum capsici* (syd.) Butl. et Busby. Les ravageurs les plus dommageables sont un lépidoptère (*Lapygama exigua* Hbn.) qui attaque les jeunes plants et un coléoptère (*Apion corchori* Marshall) qui provoque des annellations et des ruptures de tiges, ainsi que des destructions du bourgeon apical. Des dégâts de cochenilles (*Pseudococcus filamentosus* Ckll. et *Ferrisia virgata* Ckll.) peuvent aussi intervenir.

La culture du jute est très exigeante en main-d'œuvre, en particulier pour la récolte, le rouissage et le nettoyage des fibres. Elle n'est mécanisable, de manière rentable, que pour la production de semences. C'est une culture pratiquée par de petites exploitations, sur quelques ares dans chacune d'entre elles. Deux pays produisent 94 % de la production mondiale (2 535 000 t en 2000) : il s'agit de l'Inde (1 666 000 t) et du Bangladesh (711 000 t). La production est stable (2 780 000 t en 1990) malgré la concurrence des fibres synthétiques et constitue un élément important de l'économie du Bangladesh, où une grande partie de la production est transformée localement.

LE KAPOKIER

Ceiba et Bombax

Français : kapokier et fromager

Anglais : silk cotton tree

Espagnol : capoc

Famille des *Bombacaceae*

● La plante et ses utilisations

La fibre de kapok provient d'une excroissance épidermique des parois internes des fruits. Elle est lignifiée et recouverte d'une couche de cire. Sa longueur va de 10 à 25mm pour un diamètre de 20 à 25 µ, avec une paroi très fine et un lumen très important. Ceci lui donne une densité six fois inférieure à celle du coton et explique

sa grande aptitude à la flottabilité et à la protection thermique, ainsi que son impu-
 trescibilité et sa résistance aux insectes. Par contre, pure, elle se file difficilement car
 elle n'est pas vrillée. Le kapok est utilisé pour les rembourrages (coussins, matelas,
 ceintures de sauvetage) ou l'isolation thermique (vêtements matelassés ou parois
 d'avion). Les graines renferment 25 à 30 % d'une huile comestible ou de savonnerie.
 Les tourteaux peuvent être utilisés en alimentation du bétail.

Le kapok peut provenir de nombreuses espèces des genres *Ceiba* et *Bombax*. Dans la
 pratique la quasi totalité provient de *Ceiba pentandra* Gaertn, originaire d'Amérique
 tropicale mais largement répandue en Afrique (fromager) et en Asie, en particulier en
 Indonésie où il est le plus exploité. Une petite production de kapok par *Bombax mala-*
barica DC. existe en Inde. De nombreux types morphologiques ont été recensés, mais
 les seuls travaux de sélection rapportés concernent Madagascar, où furent créés, dans
 les années 30, des hybrides entre *C. pentandra* et deux espèces voisines, donnant des
 arbres de taille inférieure et à productivité plus élevée que les types sauvages.

Le *Ceiba pentandra* est un arbre qui peut atteindre 40 m, avec un tronc lisse ou couvert
 d'épines. Les rameaux sont horizontaux et situés dans des plans superposés. Les fleurs
 sont jaunes, mesurent 1 à 3 cm et se forment sur la partie terminale des branches. Le
 fruit est une capsule ellipsoïdale de 10 à 20 cm de long pour 5 cm de diamètre. La
 déhiscence est variable suivant les types et le poids de fibre représente 20 à 25 % du
 poids de la capsule.

● La culture

Le *Ceiba* prospère dans les zones présentant une pluviosité de 1000 à 1500 mm, avec
 une saison sèche marquée nécessaire à une bonne floraison. Le *Bombax* est moins exi-
 geant et 800 mm peuvent suffire. Une température d'au moins 20°C est nécessaire à
 la pollinisation. Les terres doivent être bien drainées. La multiplication peut se faire
 par semis pour les plants tout-venant, mais généralement on utilise le bouturage de
 rameaux orthotropes ou le greffage sur des plants de six à huit mois. La densité de
 plants varie de 204 plants/ha (7 x 7 m) à 100 plants/ha (10 x 10 m), suivant la fertilité
 du sol.

Les branches basses horizontales sont les plus productives et les plants sont conduits
 en multicaulie sur trois tiges après étêtage à 1,60 m (sauf pour certains types de taille
 modérée). Durant les deux ou trois premières années, des cultures annuelles associées
 sont possibles à condition de laisser une bande de 2 m le long de la ligne d'arbres. Des
 plantes de couvertures sont conseillées s'il y a des risques d'érosion.

La récolte est exigeante en main-d'œuvre et se fait par ramassage des fruits si la déhis-
 cence est faible ou nulle, par gaulage dans les autres cas. Les capsules sont décorti-
 quées, les bourres et les graines sont séparées puis passées à l'égreneuse pour isoler la
 fibre qui est ensuite pressée en balles. Le rendement en fibre est de l'ordre de 200 à
 500 kg/ha. Cependant avec les hybrides de Madagascar des rendements de 800 à 1500
 kg/ha sont rapportés.

Les plantations bien entretenues sont peu parasitées. Les jeunes plants peuvent tou-
 tefois être dévorés par des coléoptères phyllophages et les plants adultes sont des
 refuges pour des punaises (*Dysdercus* et *Anoplocnemis*), ravageurs importants pour
 d'autres plantes cultivées, en particulier le cotonnier.

Hors usages traditionnels, la production mondiale de kapok était en 1998 de 124815 tonnes, réparties entre l'Indonésie (77 215 t) et la Thaïlande (47 600 t). Elle est en progression par rapport à 1990 (103 783 t) et 1980 (74 370 t), en relation avec une demande de plus en plus forte de produits naturels.

LE KENAF

Hibiscus cannabinus L.

Anglais : brown indianhemp, deccan hemp, mesta, java jute, bimli jute...

Portugais : papoula de Sao Francisco

Famille des Malvaceae

● La plante et ses utilisations

Le kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) est surtout cultivé pour sa fibre qui est du même type que celle de la roselle et appartient à la catégorie des fibres longues non lignifiées (fibres douces). Ses usages sont voisins de ceux du jute. Depuis quelques années des cultures sont menées, en particulier aux Etats-Unis, pour la fabrication de pâte à papier. En Afrique, les feuilles sont parfois utilisées comme légumes ou comme remède et les graines comme source d'huile. La partie supérieure des tiges peut être consommée par le bétail.

Cette plante est originaire d'Afrique occidentale où des formes sauvages existent encore dans les vallées supérieures du Niger et du Bani. Suivant la forme des feuilles (entières ou lobées) et la couleur des tiges et des pétioles (vert, rouge ou pourpre), cinq types botaniques ont été identifiés. L'aire de culture est très vaste. Pour l'hémisphère Nord, elle va de l'Europe du Sud à l'Equateur. Les variétés sont nombreuses et les sélections proviennent des fonds *El Salvador*, *Ouzbekistan*, et *Soudan*. Les plus connues ont été créées en Floride (séries des *BG* et des *Everglades*).

● La culture

La plante est à dominante autogame et photopériodique, avec une forte variabilité. La floraison se produit en jours décroissants à partir d'une durée qui va de treize heures pour les variétés très précoces à douze heures pour les tardives. Ceci conditionne le choix de la variété suivant la latitude et les facteurs climatiques, la durée du cycle devant être adaptée à la pluviométrie de la zone (qui approximativement doit être de 125 mm par mois de végétation). Pour la fibre, les densités recommandées sont de l'ordre de 600 000 plants/ha (20 à 25 kg de graines). Pour la production de graines, on admet des densités plus faibles et, en combinant des dates de semis plus tardives avec un écimage précoce, on obtient des plants de taille courte dont la récolte est facilement mécanisable.

Le kénaf est très sensible aux nématodes galligènes (*Meloidogyne* spp.) et à l'anthracnose (*Colletotricum hibisci* Poll.) qui attaque le bourgeon apical. Pour cette maladie, il existe des variétés résistantes. Les altises (*Podagrica* spp.) peuvent causer des dégâts aux jeunes plants.

La récolte de la fibre se fait en début de floraison. La fibre s'obtient après rouissage dans l'eau des tiges ou des écorces après décorticage au champ. La production est en moyenne de 0,8 à 2,5 t/ha suivant les conditions de culture et la longueur du cycle. Pour la production de pâte à papier, on récolte la plante entière, il n'y a pas de rouissage et la récolte est mécanisable, ce qui n'est pas possible pour la fibre.

La production mondiale de fibre de kénaf (qui regroupe en fait la fibre de la roselle et du kénaf) était en 1998 de 643 000 t dont 85 % sont produits par la Chine, l'Inde et la Thaïlande. La production est en baisse constante depuis l'avènement des sacs en matière synthétique et du transport en vrac. Cependant, la production de pâte à papier pour les journaux (en substitution à celle produite par les arbres forestiers) se développe aux Etats-Unis et peut redonner une certaine importance à cette culture.

LA RAMIE

Boehmeria nivea (L.) Gaudish et *Boehmeria nivea* var. *tenacissima* Miq.

Anglais : China grass

Espagnol : ramio

Famille des *Urticaceae*

La ramie est la plus longue et la plus résistante des fibres végétales. En outre elle possède une finesse et un aspect soyeux qui en fait une fibre très recherchée pour la confection de tissus de luxe (tissus d'ameublement et vêtements). Elle appartient à la catégorie des fibres longues non lignifiées (fibres douces) d'origine libérienne. Son extraction de l'écorce est difficile. Elle se fait traditionnellement à la main ou demande un traitement chimique en usine (dégommage), ce qui limite sa production et réduit ses usages.

Deux variétés concourent à sa production : *Boehmeria nivea* (L.) Gaudish et *B. nivea* var. *tenacissima* Miq. (= *B. utilis* Hort.). La première (ramie blanche) est adaptée aux régions subtropicales et tempérées et donne une fibre de haute qualité ; c'est la plus cultivée. La seconde (ramie verte) est plus spécifique des régions tropicales ; elle est plus productive mais donne une fibre de moins bonne qualité. À maturité, la plante mesure de 1,5 à 2 m et à un aspect d'ortie géante. Les fleurs monoïques sont groupées en panicles au sommet des plants. La ramie est une herbe pérenne. Sa survie est assurée par des rhizomes et des racines tubéreuses. *B. nivea* demande des températures supérieures à 25°C au moins deux mois dans l'année et une pluviosité supérieure à 1 000 mm. *B. nivea* var. *tenacissima* exige une température moyenne supérieure à 25°C toute l'année et au minimum 1 200 mm de pluie.

● La culture

L'installation de la culture se fait au printemps dans les pays tempérés et au début de la saison des pluies dans les pays tropicaux, par division et replantation des racines de plants d'au moins trois ans. Le coefficient de multiplication est alors de l'ordre de 80 ha pour un hectare. L'espacement est habituellement de 1 m sur 0,50 m, ce qui donne la première année de 20 à 30 000 tiges/ha et près de 200 000 après deux à trois ans de culture. Les tiges sont récoltées à partir de la deuxième année de plantation sur

une cadence moyenne de trois coupes par an. Toutes ces opérations sont mécanisables. La durée de plantation est de quatre à neuf ans suivant la richesse du sol en matière organique. Ensuite il est nécessaire de rajeunir la plantation par un travail du sol et un épandage de doses élevées de fertilisants et parfois de chaux.

Les tiges récoltées sont soumises à trois traitements : le décorticage, le dépelliculage (élimination de l'épiderme ligneux des lanières) et le dégommeage qui consiste à dissoudre chimiquement les matières pectiques soudant les fibres entre elles. Les feuilles et le sommet des tiges sont parfois utilisés comme aliment du bétail.

Les maladies et les ravageurs sont peu importants. En ce qui concerne les maladies, on observe parfois des dégâts sur les racines et les plantules de *Rosellinia necatrix* (Prill.) Berl. et de *Rhizoctonia solani* Kuhn, ainsi que des chancres de tige causés par *Phoma boehmeria* Henn. Les insectes ravageurs sont des lépidoptères (*Sylepta silicalis* Guenée et *Cocytodes coerulea* Guen.) sur feuilles, et un coléoptère, *Agrotis* sp., sur les jeunes plants.

La production mondiale de ramie est en progression lente mais constante : 56 000 t en 1980, 93 000 en 1985, 105 000 en 1990 et 130 000 en 2000. Hors de la Chine qui produit 96,2 % de la production mondiale, il ne reste plus qu'une production résiduelle au Brésil, au Laos et aux Philippines.

LE RAPHIA

Raphia hookeri et *R. farinifera*

Anglais : raffia palm, raphia

Espagnol : rafia

Famille des *Arecaceae*

Le genre raphia est originaire d'Afrique centrale (bassin du Congo) ainsi que d'Afrique de l'Ouest. Sa culture s'est développée dans la zone intertropicale, notamment en Asie du Sud Est, en Amérique du Sud et en Amérique centrale.

Avec les feuilles entières, on fabrique des enclos et des barrières et on couvre les constructions. Le rachis est utilisé dans la construction d'habitation et la fabrication de meubles, nattes, ficelles et cordes. Les folioles constituent la fibre de raphia. Avec la sève, on prépare du vin de raphia. Les fruits sont réputés toxiques et la pulpe est rarement utilisée pour fabriquer de l'huile alimentaire (Congo).

Les raphias sont des palmiers ramifiés à la base et qui forment des touffes de tiges. Le stipe, de diamètre variable, mesure de 3 à 10 m (*R. hookeri*). Il est couvert de lanières noirâtres issues de la décomposition des gaines foliaires. Les feuilles, de 10 à 20 m de longueur et de 1 à 3 m de largeur, ont des folioles de plus de 1 m de long. Le raphia est un palmier dioïque. Chaque stipe ne fleurit qu'une fois dans sa vie puis meurt. Il porte plusieurs inflorescences. Les fruits sont des baies de 5 à 15 cm de long et 3 à 6 cm de diamètre, couvertes d'écailles vernissées qui protègent une pulpe grasseuse jaune orangé. La graine, très dure, est enveloppée d'une membrane.

Le raphia se développe plutôt dans les milieux humides inondés d'eau douce, bien que l'écologie des différentes espèces soit très variable : *Raphia hookeri*, *vimifera*, *laurentii* et *sese* vivent plutôt dans des lieux marécageux ; *Raphia palma pinus* supporte

l'eau salée des lagunes d'Afrique de l'Ouest ; *Raphia regalis* pousse sur les sols drainés des collines d'Afrique centrale.

Pour faire germer les graines, on les place sur le sol dans une zone où l'eau affleure, en les recouvrant de palmes de raphia. La germination dure 20 à 60 jours avec un taux de réussite variable (25 à 85 %). La phase juvénile dure deux à trois ans pour *C. hookeri*, puis le stipe s'élève au-dessus du marécage en cinq ou six ans jusqu'à 8 m de hauteur.

Pour obtenir de la fibre, on récolte les folioles non épanouies dont on arrache l'épiderme inférieur et le sclérenchyme sous-jacent. Toutes les espèces ne se prêtent pas à ce type d'utilisation. Les fibres sont séchées à l'ombre pour leur donner de la résistance.

Pour la sève, la récolte s'effectue sur les tiges : les feuilles sont rabattues juste avant l'apparition des inflorescences et une incision est pratiquée sur le cœur du palmier. La sève qui s'écoule est récoltée deux fois par jour jusqu'à la mort du stipe.

LE RÔNIER

Borassus aethiopicum

Anglais : Palmyra palm

Famille des Palmaceae

Originaire des plateaux éthiopiens, il est cultivé en Afrique soudanienne et soudano-sahélienne, du Sénégal à la Gambie, jusqu'à l'Afrique orientale et australe.

Ses usages sont multiples : les racines fournissent un anti-asthmatique ; avec les feuilles, on confectionne des nattes, chapeaux et paniers et on couvre les constructions ; les pétioles sont utilisés pour les clôtures, en corderie ou comme bois de feu ; la sève permet de préparer du sucre ou du vin de palme (un palmier produit environ 50 kg de sucre par an) ; les fruits sont comestibles avant maturité et mûrs ; les graines germées fournissent un embryon et un axe hypocotyle consommables ; le stipe constitue un bois d'œuvre pour la construction des toits, piliers de ponts, charpentes, fenêtres ; le bourgeon terminal est un chou palmiste prélevé sur les arbustes de trois à quatre ans.

C'est un palmier typique qui peut atteindre jusqu'à 20 m de hauteur, aux feuilles longuement pétiolées de 3 à 6 m de longueur. Le tronc lisse et droit, à l'écorce grise, peut atteindre 60 cm de diamètre et est surmonté d'une couronne de feuilles en éventail. Le système racinaire est peu développé. C'est une espèce dioïque à croissance lente (30 à 40 cm/an), dont le bois n'est exploitable qu'après 40 ans. Un renflement se forme près de la couronne après 25 ans, puis un second après 90 à 120 ans. Les fruits sphériques, oranges à bruns, se présentent en régimes pendants de 25 à 50 kg. La pulpe est blanchâtre, fibreuse, huileuse et contient plusieurs nucules blanches qui donnent à maturité des graines ligneuses brunes de 5 à 8 cm de grosseur. Le *Borassus* ne produit des fruits qu'après huit ans.

C'est un palmier héliophile qui a besoin d'eau à faible profondeur. On le rencontre dans les galeries forestières au bord de dépressions inondées périodiquement. Il s'accommode de sols pauvres et on le trouve fréquemment sur des sols ferrugineux tropicaux rouges, généralement sablo-limoneux ou sableux. Il se développe entre les

isohyètes 500 mm et 1300 mm, dans des zones caractérisées par une saison sèche de six à huit mois et des températures de 25 à 35°C.

Le rônier est facile à multiplier par semis. La germination s'opère après un mois. L'axe hypocotyle s'enfonce à 40 cm dans le sol et une feuille se forme. Jusqu'à l'âge de six à huit ans le tronc est enfoncé dans le sol. Ensuite le tronc sort du sol et s'élève en hauteur ; la croissance dépend du sol. Il faut dix ans environ pour qu'une couronne se forme. Les feuilles jusque là réparties tout le long du stipe tombent et il ne reste qu'un bouquet de feuilles au sommet. Apparaissent alors les fleurs et les fruits qui permettent de distinguer les pieds mâles des pieds femelles.

Le rônier est l'élément dominant de la strate arborée de la savane. Il est souvent associé avec d'autres arbres tels que le palmier à huile (*Elaeis guineensis*), le tamarix du Sénégal (*Tamarix senegalensis*) et le seyal (*Acacia stenocarpa*). Sur les sols sableux, on le trouve associé à *Faidherbia albida* et au dattier sauvage du désert (*Balanites aegyptiaca*).

LA ROSELLE

Hibiscus sabdariffa L.

Français : roselle, oseille de guinée, jute du Siam

Anglais : roselle

Espagnol : agria ou agrio de Guinea

Portugais : azeda de Guiné

Famille des *Malvaceae*

● La plante et ses utilisations

La roselle comprend deux formes : une forme comestible : *Hibiscus sabdariffa* L. var *sabdariffa* et une forme textile : *H. sabdariffa* L. var. *altissima* Webster. La forme comestible est utilisée pour les feuilles et les jeunes pousses, les calices peuvent servir à la préparation d'infusion (thé de karkade) ou de boisson (bissap). Cette forme a vraisemblablement été domestiquée sur la côte de l'Afrique occidentale. Elle s'est ensuite largement répandue dans presque toutes les régions tropicales. Par contre, la forme textile est d'obtention récente et a été isolée aux Philippines, au début du siècle, parmi les formes comestibles issues de graines en provenance du Ghana. Elle donne une fibre longue non lignifiée (fibre douce) du même type que celle du jute et du kénaf.

La forme comestible a un port buissonnant, la roselle textile est une plante à port dressé de 1 à 4 m de hauteur. La tige est glabre ou velue, de couleur rouge ou verte. Les feuilles sont le plus souvent profondément découpées en trois à cinq lobes longs et lancéolés aux bords crénelés. La forme textile est surtout cultivée en Asie mais de petites productions subsistent en Afrique. Les variétés sélectionnées sont en nombre restreint et proviennent essentiellement de travaux réalisés dans les années cinquante au centre de recherche de Bogor sur les descendances des plants isolés aux Philippines en 1911.

La plante est autogame et photopériodique. La culture, normalement réalisée entre les latitudes 20° Nord et 30° Sud, a un cycle de 150 à 180 jours. Elle nécessite 1 000 à 1 500 mm de pluie en période continue de six mois, avec une bonne insolation.

Pour la fibre, les densités recommandées sont de l'ordre de 600000 plants/ha (15 à 20 kg de graines). Pour la production de graines, on admet des densités plus faibles et en combinant des dates de semis plus tardives avec un écimage précoce on obtient des plants de taille courte dont la récolte est facilement mécanisable.

La plante est résistante aux nématodes galligènes du genre *Meloidogyne* mais des dégâts dus à des nématodes libres du genre *Heterodera* ont été signalés sur la forme comestible. La maladie la plus grave est liée à *Phytophthora parasitica* Dast. qui provoque un chancre du collet. Les altises (*Podagrica* spp.) causent souvent des dégâts importants aux plantules.

La récolte de la fibre se fait en début de floraison. Celle-ci, d'origine libérienne, s'obtient après rouissage dans l'eau des tiges ou des écorces après décorticage au champ. La production est en moyenne de 0,8 à 2 t de fibres sèches à l'hectare.

La fibre est vendue sous le nom générique de *kénaf* qui regroupe la production de roselle et de kenaf proprement dit (*H. cannabinus* L.). La roselle représente environ 70 % de la production mondiale des fibres d'*Hibiscus* (643 000 t en 1998 dont 240 000 pour la Chine, 200 000 pour l'Inde et 100 000 pour la Thaïlande). La production est en baisse constante depuis l'avènement des sacs en matière synthétique et le transport en vrac. Cependant la forme comestible semble prendre de l'importance pour la confection de boissons, de gelée et de colorants naturels.

LES ROTINS

Anglais : rattans canes

Espagnol : junquillo, caña de la India, Rotén

Portugais : rota

Monocotylédones, *Famille des Palmaceae* (= *Arecaceae*), *sous-famille des Calamoideae*.

Il existe treize genres, représentant environ 600 espèces. Quatre genres existent en Afrique : *Calamus*, *Eremospatha*, *Laccosperma* et *Oncocalamus*.

Plantes fibreuses utilisées traditionnellement pour la fabrication de nattes, tapis, paniers, artisanat, cordage, les rotins se trouvent à l'état sauvage en Indonésie, en Malaisie et aux Philippines. Ils ont été diffusés dans les zones les plus sèches de l'Asie du Sud Est et introduits récemment en Chine et dans quelques pays du Pacifique sud pour des essais. Les espèces exploitées appartiennent au genre *Calamus* (*C. ceasius* notamment).

Ce sont des palmiers lianescents, au tronc mince, plus ou moins épineux, de faible diamètre (inférieur à quelques centimètres), flexible, dont les tiges peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres. Les feuilles, longues de 60 à 80 cm, sont souvent terminées par un fouet épineux servant à l'accrochage de la liane sur son support. La plupart des rotins sont dioïques. Les inflorescences de quelques centimètres à quelques mètres portent un nombre important de fleurs voyantes et de fruits arrondis, en général de petite taille (1 mm à 4 cm de diamètre) et couverts de squames brillantes de couleur rouge-brun.

Nécessitant beaucoup d'eau, *Calamus caesius* se trouve dans les plaines alluviales plates, surtout sur des bourrelets de berge saisonnièrement inondés ou dans des forêts marécageuses, mais il ne se développe pas dans les marais permanents. Le rotin nécessite un équilibre entre la lumière nécessaire à la photosynthèse et l'ombre. Le rapport idéal ombrage/éclairage varie selon les espèces. Le rotin a besoin d'une végétation arborée haute, qui lui sert de tuteur et fournit l'ombre. Il est cultivé dans les anciennes plantations d'hévéas ou de fruitiers. Les graines sont semées à 1 cm de profondeur, sur un lit de semence sablo-argileux ou argileux recouvert de 2 cm de sciure pour garder l'humidité et régulièrement arrosé. Quand les pousses atteignent 4 à 5 cm, elles sont repiquées dans des sachets de polyéthylène. Les plants sont prêts à être plantés en plein champ lorsqu'ils atteignent 40 à 50 cm de hauteur. Dans la pépinière, les maladies sont rares si l'hygiène est stricte.

La croissance d'une canne est de 2,5 m par an. La sélection des cannes mûres commence la 8^e année. Elles sont coupées 30 cm au-dessus de la base, puis tirées au sol et nettoyées de leur gaine par torsion et frottement autour d'un tronc d'arbre. Elles sont ensuite coupées en morceaux de 6 m, liés en paquets de cent. Pour une population de 500 plants par hectare, le rendement moyen est de 1,5 à 3 t/ha. Une tonne correspond à 36 000 m de canne sèche.

Après la récolte, les cannes sont lavées et les gaines restantes éliminées. Le séchage et la fumigation au sulfure préviennent les attaques de ravageurs. Les cannes doivent être rapidement traitées après la récolte pour maintenir leur qualité.

L'Indonésie est le plus grand producteur, mais cette culture devient également très importante en Malaisie. Des interdictions d'exporter les produits bruts ont été mises en place dans les principaux pays producteurs, favorisant l'industrie locale du rotin et l'exportation de produits transformés. Bien que les rotins existent également en Afrique, ils n'y sont pratiquement pas exploités.

LE SISAL

Agave spp.

Anglais : sisal hemp

Espagnol : sisal, henequen (sisal du Yucatan)

Famille des Agavaceae

● La plante et ses utilisations

Les agaves produisent des fibres longues qui servent à la fabrication de cordages, de sacs ou de tapis et des fibres courtes utilisées pour le rembourrage, les revêtements muraux, la fabrication de papier, etc.. Elles sont formées dans le parenchyme des feuilles et appartiennent à la catégorie des fibres dures (lignifiées). La pulpe des feuilles est aussi fréquemment utilisée pour la fabrication de boissons fermentées (pulque, tequilla). Les racines servent parfois à préparer une teinture rouge pour la coloration des tissus.

Les agaves produisent tous des fibres utilisables en corderie mais seulement deux d'entre eux concourent significativement à la production mondiale : Le henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) cultivé au Mexique et surtout le sisal (*A. Sisalana* Perr.), cultivé principalement en Chine, en Afrique de l'Est et au Brésil. Deux agaves sont connus pour la production d'alcool : le maguey (*A. Atrovirens* Karw.) et le mezcal (*A. Tequilana* Weber). Tous les agaves sont originaires d'Amérique et certains sont cultivés depuis 9 000 ans dans le Yucatan. Plusieurs espèces de deux genres voisins : *Furcraea* (Amaryllidaceae) et *Phormium* (Lilliaceae) sont parfois encore cultivées, dont le fique (*Furcraea macrophylla* (Hook.) Baker) en Colombie.

A. Sisalana est une plante herbacée dont les tiges présentent des entre-noeuds très courts portant des feuilles épaisses, terminées par une épine aiguë, groupées en rosette d'où émerge en fin de végétation, après 6-8 ans, une hampe pouvant atteindre 6 m de haut et qui porte des fleurs. La plante émet des stolons souterrains donnant des rejets. Des bulbilles apparaissent au point d'insertion des fleurs lorsque celles-ci tombent.

La polypléidie est commune chez les agaves. Le sisal est pentaploïde et les fleurs sont normalement stériles. Cependant une mutilation de la hampe florale fait apparaître sur la plaie des rejets qui sont susceptibles de donner des fleurs fertiles utilisables pour l'amélioration génétique. Cette dernière a toutefois été peu pratiquée, sauf au Kenya dans les années 30-40 où des hybrides très productifs et sans épines d'*A. Sisalana* avec *A. Angustifolia* Haw. ont été obtenus et largement cultivés ultérieurement en Afrique de l'Est.

Le sisal est très plastique et s'accommode de climats très secs et de sols très pauvres. Cependant il est nécessaire pour une production rentable de le cultiver dans des zones avec une pluviosité comprise entre 800 et 2 000 mm, bien répartie pour obtenir une bonne régularité de la sortie des feuilles. Le sisal pousse bien dans des sols légers, à pH voisin de 6 et bien drainés. Durant le cycle d'exploitation (six à huit ans) la plante produit de 200 à 250 feuilles exploitables, contenant 3 à 3,5 % de fibres.

● La culture

Les fibres de sisal commercialisées proviennent uniquement de grandes plantations, composées de parcelles de culture entourant une usine de défibrage, de façon à limiter les transports de feuilles. Un point d'eau est nécessaire pour le défibrage.

Le premier stade de la culture est la mise en pépinière de bulbilles. Après six à douze mois, les jeunes plants sont transplantés au champ à la densité de 6 à 10 000 plants/ha (par exemple en deux lignes jumelées à 0,75 m, distantes de 3 m, avec 0,75 m entre les plants sur une même ligne). Les sarclages se font dans le jeune âge. Après la coupe des feuilles, un apport d'engrais minéraux est nécessaire si la restitution des déchets de défibrage n'est pas effectuée. Une culture intercalaire est possible la première année mais elle n'est pas conseillée.

Les maladies et les ravageurs du sisal sont rares et de peu d'importance : seul un charançon (*Schyphophorus acupunctatus* Gyll.) est signalé sur les jeunes plants et, en Afrique de l'Est, une pourriture du coeur due à *Phytophthora parasitica* Dast. a limité l'emploi des hybrides *sisalana* x *angustifolia*.

● **La récolte et les opérations de post-récolte**

D'une manière générale, la production commence en moyenne à trois ans. Les feuilles, choisies suivant leur taille (de 0,80 à 1,50 m de long sur 10 à 12 cm de large), sont coupées à la main et, après suppression des épines, sont transportées à l'usine centrale où elles sont triées par longueur et défibrées à la machine (*raspador*) sous jet d'eau. Une défibreuse peut traiter de 60 à 100 000 feuilles par jour, soit 2 à 3,5 t de fibres, ce qui correspond à une défibreuse pour 100 à 150 ha. Après le défibrage, les fibres sont séchées au soleil ou à la machine, brossées, triées suivant la longueur (105, 90, 75 et 60 cm), et pressées en balle de 500 livres. La qualité (classée selon neuf grades) est fonction de la couleur, des défauts et de la présence ou non de bourre.

Deux à quatre coupes sont effectuées par années et on compte en moyenne 110 jours de travail par tonne de fibres récoltée à l'hectare. La production à l'hectare pour un cycle de six à huit ans est de l'ordre de 150 à 350 t de feuilles vertes et de 5 à 12 t de fibres. Elle peut cependant être beaucoup plus élevée et atteindre 18 t.

● **La production actuelle et les perspectives**

Jusque dans les années 60-70, la production était de l'ordre de 800 000 t, les trois pays plus gros producteurs étant le Brésil, la Tanzanie et le Mexique. La généralisation des moissonneuses batteuses et les fibres synthétiques ont porté un coup rude à la production de fibres de sisal. En 2000, la production est tombée à 365 000 t, dont 195 000 t au Brésil.

La fabrication de ficelles et de sacs représente toujours la part la plus importante de l'utilisation du sisal, mais la demande continue de baisser et n'a pas été compensée par la demande de tapis (20 000 t dans le milieu des années 90) et la fabrication de pâte à papier (40 000 t). Les projections prévoient une production de 260 000 t en 2005.

Bibliographie générale sur les plantes à fibres

- BERGER J. 1969. *The world's major fibre crops, their cultivation and manuring*. Zurich, Centre d'étude de l'azote, 327 p.
- DEMPSEY J. M. 1975. *Fiber crops*. The University press of Florida, Gainesville, 455 p.
- KIRBY R. H. 1963. *Vegetable fibres, Botany, Cultivation and Utilization*. London, Leonard Hill [books] Ltd, 464 p.
- MEDINA J. C. 1959. *Plantas fibrosas da flora mundial*. Instituto Agronomico Campinas ed., 912 p.

Bibliographie sur des espèces spécifiques

Le coton

- MUNRO, J. M., 1987. *Cotton*. Singapore, Longman Scientific & Technical.
- PARRY G., 1982. *Le cotonnier et ses produits*. Techniques agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose Ed., 502 p.
- SEMENT G, 1986. *Le cotonnier en Afrique Tropicale*. Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose.

Le kapokier

- MONTAGNAC P., TRAMENA J. 1962. *La culture du kapokier à Madagascar*. Coton et fibres tropicales, 17, 1 pp. 89-96.

Le rônier

- VON MAYDELL H. J., 1983, *Arbres et arbustes du Sahel*. GTZ, 530 p.
- Le rônier et le palmier à sucre, production et mise en œuvre dans l'habitat*, GRET, 1987, 92 p.

Le rotin

- Bois et forêts des tropiques*, Revue trimestrielle, département forêts CIRAD, n° 232, 2ème trim. 1992, pp. 17 à 24.
- DRANSFIELD J., 1979, *A manual of the rattans of the Malay Peninsula*. Forest Department, West Malaysia, 270 p.
- PLANT RESOURCES OF SOUTH-EAST ASIA (PROSEA), *Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Majors commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables*. n° 1-4, 5(1), 6-8, CD ROM, Wageningen, 1997.

Le sisal

- Seize années d'expérimentation sisalière à la station du Mandrare (Madagascar)*, 1953-1968. Coton et fibres tropicales, 1969, 24, 4 pp. 443-446 et 1970, 25, 2 pp. 151-174.

Les plantes à caoutchouc

À partir des contributions de M. Delabarre (CIRAD)
et J.M. Eschbach (CIRAD)

> Le guayule

> L'hévéa

LE GUAYULE

Parthenium argentatum

Anglais : guayule

Espagnol : guayule

Famille des *asteraceae*

Seul *Parthenium argentatum*, variété *Gray*, contient des quantités suffisantes de caoutchouc pour avoir une importance économique.

● La plante et son environnement

● La plante

Le guayule est une plante buissonnante spontanée se développant sur les plateaux du Nord du Mexique et du Sud des Etats-Unis. À l'état sauvage, sa croissance est lente par suite des conditions climatiques où il se trouve placé. Son intérêt économique provient du caoutchouc qu'il contient dans ses cellules. À l'âge adulte, la plante se présente sous la forme d'un arbuste de 50 à 60 cm de haut.

Son développement racinaire est très important : jusqu'à six mètres de profondeur et trois mètres de rayon, ce qui lui permet d'absorber l'humidité dans un grand volume de sol désertique. Sa floraison débute très tôt (trois à quatre mois) et a lieu trois à quatre fois par an.

Le contenu en caoutchouc peut varier de quelques pour cent à 15 % du poids sec. Les deux tiers du caoutchouc sont situés dans la partie aérienne et le tiers dans les racines. Ce caoutchouc est réparti dans des cellules isolées de toute la plante, principalement dans le parenchyme cortical.

● L'écologie du guayule

Le guayule a besoin d'un sol calcaire léger, drainant bien, avec un pH de 6,5 à 8,4. Dans son aire d'origine, la plante est soumise à un climat aride. En conditions de culture industrielle, une pluviométrie de l'ordre de 450 mm/an est souhaitable pour une exploitation sur quatre ans. Le cycle peut être réduit à trois ou même deux ans s'il y a possibilité d'irrigation.

On apporte alors 750 à 1 000 mm/an, en ménageant des périodes arrosées et des périodes sèches pour favoriser la formation de caoutchouc. Une altitude comprise entre 600 et 2 000 m peut convenir à la culture.

● La culture

● Les grands systèmes de culture

L'exploitation du guayule a commencé au début du xx^e siècle par la cueillette des populations spontanées du Mexique. La production a été de 2500 à 3000 t/an jusqu'en 1950. Aux Etats-Unis, durant la deuxième guerre mondiale, *l'Emergency rubber project* a fait un gros effort de sélection : 13 000 ha de guayule ont été plantés. Mais la construction simultanée d'usines de fabrication de caoutchouc synthétique a ruiné la culture.

À cause de la hausse du prix du pétrole, des incertitudes sur l'approvisionnement futur en caoutchouc naturel par les plantations d'hévéa d'Extrême-Orient et de leur désir d'auto-approvisionnement, le Mexique et les Etats-Unis préservent la possibilité d'utiliser le guayule. Le Mexique a construit une usine pilote. Les Etats-Unis ont créé des stations de recherche en Arizona, en Californie et au Texas ainsi qu'une usine pilote (*Firestone*) en Arizona.

● L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement

● La mise en place et l'entretien de la culture

La germination est difficile et nécessite un trempage pendant deux heures dans une solution d'hypochlorite de sodium à 0,25 % pour des graines de plus d'un an. L'addition de 200 ppm de gibbérelline est recommandée. Les graines traitées sont semées dans des bacs de germination. Au bout de trois semaines, les jeunes plantules sont repiquées dans des pots. Des machines à grand rendement permettent ensuite la mise en place simultanée de quatre à six rangs de culture, à une densité d'environ 55000 pieds/ha. Le semis direct n'est pas recommandé.

Le désherbage peut être mécanique ou chimique (DSMA, prodiamine, pendiméthaline). Il y a lieu de trouver un compromis entre la croissance des plants et l'accumulation du caoutchouc : la fertilisation augmente la croissance, qui limite la formation du caoutchouc.

● La défense des cultures

Le guayule est affecté par une vingtaine de pathogènes. Parmi les plus importants :

- > sur jeunes plants : *Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Pythium* et *Rhizoctonia* ;
- > sur plants établis : *Phymatotrichum omnivorum*, *Verticillium dahliae*, *Macrophomia phaseoli*.

Les maladies étant difficiles à contrôler, il est préférable d'utiliser des variétés tolérantes. De nombreux insectes (210 espèces recensées) attaquent également la plante : *Systema spp.*, *Epitrix spp.*, *Myzus persicae*, *Aphis gossypii*, *Lygus hesperus*. Parmi les produits efficaces, on peut signaler le malathion, le diazinon et l'orthene.

● **La récolte, l'extraction et la purification**

La récolte consiste à couper ou arracher les plants à deux, trois ou quatre ans, selon la teneur en caoutchouc. Le caoutchouc contenu dans les cellules isolées est difficile à extraire. De plus, il contient un fort pourcentage de résines qu'il faut séparer. Les chercheurs mexicains ont mis au point un procédé de traitement permettant d'obtenir un caoutchouc comparable à celui de l'hévéa. Les différentes opérations sont les suivantes :

- > ébouillantage de la masse végétale (coagulation du caoutchouc dans les cellules, élimination des feuilles et de la terre) dans de l'eau à 75°C pendant dix minutes ;
- > passage au broyeur à marteau et au dépulpeur (séparation des fibres et du caoutchouc) ;
- > flottation (élimination du bois, de la pulpe et du liège) ;
- > dérésinification par traitement à l'acétone ;
- > purification par solubilisation du caoutchouc dans l'hexane ;
- > séchage par double extrusion et conditionnement en balles de 33 kg.

● **La production et les perspectives**

Quand la culture fut abandonnée en Californie en 1946, le rendement atteignait 400 à 500 kg de caoutchouc sec par ha et par an, en culture mécanisée et irriguée. Actuellement des produits stimulant la teneur en caoutchouc permettent une production de 900 kg/ha/an.

Les qualités du caoutchouc extrait du guayule sont très comparables à celles du caoutchouc tiré de l'hévéa. Il pourrait donc le remplacer si les coûts de production sont comparables ou s'il y avait pénurie de caoutchouc d'hévéa. Des recherches continuent pour tenter d'obtenir des lignées produisant de haute teneur en caoutchouc mais, pour le moment, il n'existe pas d'unité industrielle installée.

L'HÉVÉA

Hevea brasiliensis

Anglais : rubber tree ou Para rubber tree

Espagnol : hule ou árbol de caucho

Portugais : borracha

Classification botanique : *ordre des Euphorbiales - famille des Euphorbiaceae*

Espèce monoïque, fleurs mâles et femelles disposées conjointement sur des racèmes mixtes.

Feuilles à trois folioles, long pédoncule.

Fruits : capsules à trois lobes et trois graines oléagineuses, de la dimension d'une noix.

● **Les utilisations de l'hévéa**

Connu depuis les civilisations précolombiennes, le caoutchouc naturel est, de nos jours, utilisé pour la fabrication des pneumatiques (les trois quarts des utilisations), de

certaines pièces d'amortissement, d'articles confectionnés, de fils élastiques, de tapis, de courroies transporteuses de chantier, de semelles, de produits de protection chirurgicaux etc. Les sous-produits de l'hévéaculture sont constitués des graines dont on peut extraire une huile de valeur industrielle et un tourteau pouvant servir à l'alimentation du bétail.

Lorsque les arbres ne sont plus productifs, le bois est utilisé soit comme bois de feu, soit pour la fabrication de pâte à papier ou de meubles ou bien pour la marqueterie. L'hévéa est également une essence de reforestation.

Le caoutchouc synthétique provient essentiellement du gaz naturel et des sous-produits pétroliers. Caoutchoucs naturel et synthétique sont deux matières complémentaires.

● **La plante et son environnement**

● **La plante**

● **L'origine et les aires de culture**

Le genre *Hevea* est originaire d'Amérique du Sud où on le rencontre dans tout le bassin amazonien. Il a été introduit à la fin du XIX^e siècle en Extrême-Orient et plus récemment en Afrique. Actuellement, l'hévéa est cultivé de part et d'autre de l'équateur, dans une zone comprise entre 20° Nord (sud de la Chine et Hainan) et 15° Sud (État de Sao Paulo).

● **Les caractéristiques morphologiques de la plante**

En forêt tropicale, l'hévéa est très dispersé et en compétition avec les autres arbres. Sa couronne se trouve dans l'étage supérieur à 20-30 m du sol et son tronc est élancé. C'est une essence de lumière pouvant vivre cent ans. Son bois est homogène, tendre et cassant. Le système racinaire est à la fois pivotant et traçant. Le système traçant se développe à partir de dix à quinze racines latérales, issues du pivot au-dessous du collet. À partir de ces racines latérales, qui peuvent atteindre 10 m et plus, un chevelu très abondant se développe dans les couches superficielles du sol : 30 à 60 % des racelles se trouvent entre 0 et 7,5 cm.

Les plantations modernes sont constituées de clones multipliés par greffage soit en pépinière, soit directement au champ. Leur durée de vie économique est limitée à trente-cinq ou quarante ans. La mise en exploitation des arbres commence cinq à sept ans après leur mise en place. Leur hauteur ne dépasse guère 15 à 20 m.

La croissance de l'arbre est rythmique, la formation des différents étages étant bien visible dans le jeune âge. La couronne foliaire peut donner prise au vent et entraîner la casse du tronc.

L'hévéa adulte perd ses feuilles et les renouvelle chaque année. Cette période de défoliation-refoliation interfère sur la production qui décroît fortement. La floraison a lieu à cette période. Les premières floraisons donnent peu de graines ou des graines non viables. La production de graines est d'environ 4 à 5 kg/ha. On compte environ 250 à 350 graines par kilogramme.

L'écorce renferme les organes producteurs du latex : les cellules laticifères. Leur métabolisme est orienté à 90 % vers la synthèse du caoutchouc. Le latex n'est pas une sève.

Il est constitué d'une suspension colloïdale de particules de caoutchouc dans un sérum cytoplasmique. La direction générale du système conducteur et du système laticifère est légèrement inclinée (de 3 à 5°) vers la droite en allant de bas en haut (d'où une saignée orientée dans le sens gauche-droite).

● **Les modes de reproduction**

Au début du siècle, la totalité des plantations établies provenait de graines non sélectionnées. La variabilité de production des individus de ces plantations a conduit la recherche à entreprendre la création de clones de greffe.

Les recherches modernes se tournent vers la culture *in vitro*. On peut en attendre des arbres dont la production devrait être supérieure et dont les caractères secondaires (forme de la couronne, résistance aux maladies...) permettront une meilleure vie économique.

● **L'écologie de l'hévéa**

● **Le climat**

Une température annuelle moyenne de 25°C est optimum pour l'hévéa, avec des minima supérieurs à 15°C. L'effet de l'altitude sur la croissance de l'hévéa semble lié à l'abaissement de la température. La hauteur d'eau recommandée varie de 1 500 mm à 3 000 mm par an. La capacité de rétention en eau du sol joue un rôle important pour réduire ou aggraver les effets de la saison sèche. Les pluies matinales gênent ou empêchent la saignée, qui s'effectue le matin. On situe à environ 1 650 heures les besoins en ensoleillement de l'hévéa. Les situations géographiques où les cyclones sont fréquents (vents de plus de 90 km/h) sont à exclure pour l'hévéaculture.

● **Les sols**

Il est recommandé de planter en courbes de niveau lorsque la pente excède 4-5 %. On évite de planter sur des pentes supérieures à 25 %. Le développement racinaire de l'arbre est optimum dans des sols meubles, dont la profondeur est de 1 à 1,5 m, avec un taux d'éléments grossiers inférieur à 30 % et sans hydromorphie à moins d'un mètre de profondeur. Il est préférable que le sol contienne au minimum 20 % d'argile près de la surface et 25 % en profondeur. Enfin l'hévéa est acidophile : la zone de pH optimale se trouve entre 4,5 et 5,5.

● **La culture**

● **Les grands systèmes de culture**

L'hévéaculture repose sur deux grands types de systèmes de culture :

- > la monoculture stricte, qui peut comporter, pendant la période d'immaturation de l'hévéa, soit la mise en place d'une plante de couverture, soit une culture intercalaire dans l'interligne ;
- > les systèmes de type agroforestier qui peuvent être extensifs (*jungle rubber* d'Indonésie par exemple), ou intensifs s'il y a utilisation de clones par exemple.

D'autres systèmes de culture fondés sur la valorisation de l'interligne par des associations de cultures permanentes sont à l'étude mais restent encore à développer à grande échelle.

● **L'itinéraire technique et l'élaboration du rendement**

● **L'établissement d'une plantation**

La production de plants greffés nécessite des pépinières produisant des porte-greffes. Le germoir est constitué de plates-bandes d'un mètre de largeur et de longueur variable, constituées par un milieu léger de 5 à 10 cm d'épaisseur (sable, sciure ou copeaux de bois). On dispose 1 000 graines par m². Le taux de germination diminuant très vite après la maturité, il est recommandé de mettre à germer des graines aussi fraîches que possible. La germination commence quatre jours après la mise en place et toute graine non germée après vingt-et-un jours doit être éliminée. Les racines latérales s'allongent plus rapidement que la radicule et l'ensemble forme le stade *patte d'araignée*. Les taux de germination espérés vont de 60 % pour des graines conservées à 80 % pour des graines fraîches.

Les travaux de pépinière sont différents selon qu'il s'agit d'une pépinière *plein champ* ou d'une pépinière *en sacs*. La qualité des plants préparés en sacs, supérieure à celle des plants provenant des pépinières de plein champ, permet la réalisation de plantations plus homogènes.

La pépinière de plein champ

- > il faut un terrain au sol relativement léger, plat ou très légèrement en pente pour favoriser le drainage ;
- > le sol doit être ameubli à 50/80 cm de profondeur, mécaniquement ou à la main. Les graines germées y sont transplantées à raison de 80 000 à 100 000 plants/ha ;
- > une fumure de fond (phosphate) ainsi qu'une fumure phosphato-azotée adaptée à la nature du sol est apportée, répartie d'une manière fractionnée sur les six premiers mois ;
- > un mois et deux mois après la mise en place, on procède également à deux éliminations des plants mal formés, décolorés ou de faible développement ;
- > des sarclages réguliers sont également nécessaires.

La pépinière en sacs de polyéthylène

- > les sacs de 40cm x 25 cm (mesurés à plat) sont rangés en double-lignes de 30 cm de large, dans des jauges de 30 cm de largeur, 25 cm de profondeur, et 9 ou 18 mètres de longueur. On peut disposer douze à quinze sacs par mètre de tranchée, ce qui correspond à une densité de 90 000 sacs environ par hectare ;
- > la terre de remplissage des sacs reçoit une fumure de fond (phosphate). Par la suite, les sacs reçoivent une fumure adaptée et on procède à une sélection des plants à un et deux mois.

Les maladies les plus fréquentes en pépinières sont l'anthracnose (*Colletotrichum*), l'oïdium et l'helminthosporiose. Elles sont contrôlées par des applications systématiques de fongicides (chlorotalonyl, soufre, zinèbe ou manèbe).

Le jardin à bois de greffe est constitué par une collection de clones, spécialement conduits en vue de fournir les bourgeons qui seront greffés sur les plants en pépinière. Une souche en jardin à bois donne un an après sa mise en place 1 mètre de bois de greffe et 2 à 3 mètres les années suivantes. Un mètre de bois de greffe fournit dix greffons utilisables.

L'âge du greffage dépend de la technique de plantation (greffe en vert : porte-greffe de quatre à six mois ; greffe en aoûté : porte-greffe > six mois) ; la greffe se fait en écusson à œil dormant.

Pour un hectare de plantation à partir d'une pépinière en sacs, il faut 625 plants greffés plantables (600 plantés et 25 de remplacement), soit 1 039 plants greffables, soit 1 164 plants en sac, soit 2400 graines et 110 mètres de bois de greffe, soit 35 à 110 souches en jardin à bois.

En conditions villageoises, la plantation se fait souvent sur vieille défriche, dont il faut éliminer la végétation indésirable. Afin de réduire les risques d'érosion, la mise en place d'une plante de couverture est recommandée, si le planteur ne cultive pas de culture intercalaire de la première à la troisième année.

La plantation se fait en lignes espacées de 6 à 8 mètres, avec un espacement de 2,8 à 3 mètres sur la ligne, au début de la saison des pluies, et à une densité variant de 500 à 600 arbres/ha pour en avoir environ 400 à la mise en saignée.

● **Les soins spécifiques des jeunes cultures**

L'ébourgeonnage permet d'éliminer tout bourgeon se différenciant sur l'axe primaire, de façon à ce que le tronc de l'arbre soit droit et lisse et que le premier branchement soit suffisamment haut (2,50 à 2,80 mètres). On gère l'enherbement sur la ligne de plantation (un mètre de part et d'autre du plant) par sarclage à la main la première année puis, ensuite, au moyen d'herbicides (glyphosate, paraquat etc.). L'interligne est périodiquement rabattu ou nettoyé par applications d'herbicides adaptés à la flore dominante.

● **La fumure**

Au cours de la phase non productive (cinq à six ans), l'hévéa utilise une large quantité d'éléments nutritifs pour construire sa charpente, ce qui nécessite une fumure abondante. Au cours des deux premières années, l'épandage s'effectue à la volée dans la zone comprise entre le pied de l'arbre et l'aplomb de la couronne. Par la suite, l'épandage s'effectue sur toute la largeur de l'interligne.

Après cinq ou six ans, une grande quantité de ces éléments sont recyclés par l'arbre lui-même (chute des feuilles et émondage naturel). En général, l'analyse de la croissance de la production et l'aspect des couronnes permettent d'avoir une idée assez précise de l'état nutritionnel des arbres. Enfin la connaissance des relations sol-plante grâce aux essais d'engrais permet d'établir, pour une situation donnée, les valeurs *seuil* permettant de raisonner les apports.

Tableau 1. Doses d'engrais appliquées dans le sud-est de la Côte d'Ivoire en plantation d'hévéa (en grammes d'éléments fertilisants par emplacement)

	N	P	K
Année 0	50	50	100
Année 1	50	50	50
Année 2	70	70	50
Année 3	selon état de développement		
Année 4	selon état de développement		

● Les maladies et leurs traitements

La lutte contre les maladies des racines – *Rigidoporus lignosus* (*Fomes lignosus* = *Leptoporus lignosus* = *Fomes*) – peut être indirecte (suppression du bois résiduel) ou directe, par application au niveau du collet de l'arbre malade et de ses voisins immédiats d'un fongicide granulé (tridemorphe, triadiméphon, bromuconazole, diniconazole), avec un léger binage pour faciliter l'incorporation au sol. Les rondes de détection (par paillage) et donc les traitements sont à effectuer deux fois par an dès la mise en place, quel que soit le produit de traitement utilisé.

Les maladies de l'écorce affectent le panneau de saignée et sont souvent la conséquence directe du mode d'exploitation de l'hévéa. La principale est provoquée par *Phytophthora palmivora* («maladie des raies noires»). Elle peut être évitée en appliquant, après chaque saignée un fongicide : metalaxyl, folpel, cymoxamil, oxadixil, fosetyl-Al (en saison sèche le traitement n'est, en général, pas nécessaire). L'ensemble des infections dites *Brown bast* (brunissement de l'écorce et dessèchement de l'encoche) provient en général d'un désordre physiologique consécutif à un stress.

Les deux maladies des branches sont *Corticium salmonicolor* (l'application au pinceau de tridemorphe dès l'apparition des symptômes permet d'enrayer la maladie) et *Botryodiplodia theobromae*. Cette maladie (*dieback*) provoque un dépérissement des branches sur des arbres affaiblis physiologiquement par de mauvaises conditions de végétation (sécheresse).

Les maladies des feuilles sont nombreuses :

- > *Microcyclus ulei* (= *Dothidella ulei*) : appelée aussi «maladie sud-américaine des feuilles» ou encore SALB (South American Leaf Blight), elle est spécifique de l'hévéa. Des traitements chimiques préventifs en pépinière sont recommandés dans les zones endémiques. En plantation adulte, il faut utiliser des clones tolérants ;
- > *Oidium heveae* : surtout rencontré en Asie, l'oïdium attaque les jeunes feuilles à leur premier stade de développement et provoque d'importantes défoliations sur les arbres adultes au moment de la refoliation. Il faut utiliser des clones tolérants ;
- > *Colletotrichum gloeosporioides* : le champignon attaque les feuilles nouvellement formées à des stades plus ou moins avancés. Utiliser des clones tolérants ;
- > *Helminthosporium heveae* : plus fréquemment rencontrée sur les jeunes plants de pépinières, cette maladie aussi appelée *Dreschlera heveae*, a été observée dans certaines régions sèches, à sols légers et pauvres, et sur replantations. Utiliser des clones tolérants ;

> *Corynespora cassiicola* : le champignon attaque de préférence les jeunes feuilles mais il se développe également sur feuilles adultes. Certains clones comme le *RRIC 103* sont particulièrement sensibles à cette maladie et ne doivent pas être plantés en zone à risque.

● Les temps de travaux

Tableau 2. Temps de travaux sur plantation d'hévéas (journées par hectare)

Années	Plantation industrielle	Plantation villageoise
-2	10 à 15	
-1	40 à 45	80 à 101
0	90 à 100	90 à 110
1	30 à 35	68 à 81
2	20 à 25	42 à 65
3	20 à 25	23 à 29
4	20 à 25	16 à 21
5	20 à 25	15 à 90
6	45 à 50	120 à 180
7	60 à 65	120 à 180
8 et suivantes	70 à 75	

● La récolte, les opérations post-récolte

La récolte du latex s'opère par saignée. Celle-ci consiste à pratiquer une encoche dans l'écorce formant une spirale orientée de haut en bas et de la gauche vers la droite. L'encoche est ouverte à 1,20 m, inclinée de 30 à 35° par rapport à l'horizontale. Les systèmes d'exploitation sont plus ou moins intensifs et dépendent de la longueur de l'encoche (spirale entière, demi-spirale, quart de spirale) et de la fréquence de saignée (saignée du même arbre tous les deux, trois ou quatre jours). Par définition, le système de saignée en spirale sur la moitié de la circonférence du tronc tous les deux jours sans repos annuel, soit 180 saignées par an, a une intensité de 100 % et s'écrit : $1/2S d/2$ $7d/7$ $12m/12$. C'est le système le plus employé. Une fois mise en saignée, une plantation peut être exploitée pendant vingt-cinq à trente ans. Un homme peut saigner de 350 à 600 arbres par jour.

La stimulation a été introduite afin de maintenir un bon niveau de production en réduisant la main-d'œuvre nécessaire à la saignée. L'effet stimulant qui ne modifie pas les éléments classiques de la saignée est obtenu par l'emploi d'un générateur d'éthylène : l'Ethéphon ou acide chloro-2-éthylphosphonique (Ethrel), que l'on applique au niveau de l'encoche. La quantité utilisée est, en moyenne, de 1 g par arbre de produit stimulant à 2,5 % de matière active pour une saignée en 1/2 S. Il n'est pas recommandé d'utiliser des mélanges dont la concentration est supérieure à 2,5 %, sauf lorsque l'on stimule de vieux arbres bons producteurs, en fin d'exploitation ou dans certains cas de saignée remontante.

Les équipements spécifiques à la saignée

Ce sont :

- pour l'arbre : une tasse (de 500 à 1 200 ml), un support de tasse, un collier en fil de fer et une gouttière munie de deux arrêtoirs ;
- pour le saigneur : une gouge ou un couteau, deux seaux de 15 à 20 l, un sac de jute pour récolter le sernamby (lame de latex coagulé sur l'encoche de saignée) et les fonds de tasses, une boîte contenant une pâte fongicide pour blessures de saignée, un grattoir, une curette de tasse, une pierre à aiguiser, une gourde en plastique munie d'un bec verseur et contenant de l'acide formique ou acétique dilué.

● La collecte du latex et le rendement

● **Le système de récolte en tasses : latex et fonds de tasses**

En plantation villageoise, le planteur procède souvent lui-même à la coagulation de son latex sur la plantation au moyen de petits bacs en aluminium ou en bois. Il peut aussi transporter le latex directement vers un centre de coagulation généralement établi pour quinze à vingt planteurs (cas de l'Indonésie) où, après coagulation du latex au moyen d'acide formique ou acétique, un laminoir manuel (mangle), permet la fabrication d'une feuille de latex qui est mise à sécher à l'air libre.

En plantation industrielle, le latex, dont la coagulation est momentanément stoppée par l'adjonction d'ammoniac, est acheminé par citernes vers l'usine de transformation. Après coagulation dans des bacs spéciaux, le coagulum est découpé soit en petits morceaux ou granulés, soit crêpé et découpé en granulés qui subiront lavages et séchage pour être transformé en balles de 33,3 kg.

Le latex est aussi parfois concentré par centrifugation.

● **Le système de récolte sous forme de coagulum**

Cette pratique peut se rencontrer aussi bien en plantation villageoise qu'en plantation industrielle, le produit étant constitué de latex coagulé spontanément ou de façon provoquée (acide formique ou acétique). La coagulation peut se faire consécutivement à chaque saignée et le planteur livre sa production à un centre de collecte ou directement à un acheteur. Il est impératif qu'une grande propreté accompagne la préparation et le transport de ces *coagula*. En plantation industrielle, les *fonds de tasses* proviennent de l'écoulement du latex après le ramassage.

On peut également trouver des *coagula* provenant de coagulation volontaire du latex pour diverses raisons (pluie au cours de la saignée, pénurie de main-d'œuvre etc.). Ces *coagula* sont également transformés en granulés pour en faire des balles de caoutchouc.

● **Le rendement**

Les plantations de *seedlings* (plants non greffés) produisent de 400 à 500 kg/ha de caoutchouc sec alors que les plantations d'arbres greffés produisent en plantation industrielle de 1 500 à 2 000 kg/ha et en plantation villageoise 1 000 kg/ha en moyenne.

● La mise en œuvre dans l'industrie

Les balles de caoutchouc brut fournies par les usines de plantations doivent subir de nombreux traitements en manufacture avant de conduire aux produits finis (pneumatiques, tuyaux, joints, etc.).

Le caoutchouc naturel est tout d'abord malaxé dans des mélangeurs puis on lui additionne divers ingrédients lui conférant des propriétés mécaniques que la gomme crue ne possède pas. Le soufre permet en particulier de réaliser la vulcanisation. Les charges renforçantes (noir de carbone, silice précipitée) améliorent les caractéristiques du produit fini.

Le caoutchouc naturel est aussi souvent associé, en particulier dans le pneumatique, à des caoutchoucs synthétiques. Le mélange obtenu est alors mis en forme soit par extrusion pour obtenir des profilés, soit par calandrage pour obtenir des feuilles ou des plaques, soit par moulage. Il est en suite chauffé dans des tunnels, des autoclaves ou des presses, opération dite de vulcanisation qui confère à la pièce ses propriétés et ses caractéristiques dimensionnelles finales.

● La production actuelle et les perspectives

● Les évolutions des zones de production

Tableau 3. Les surfaces plantées en hévéa et les productions 1998 dans les principaux pays producteurs

Pays	Plantations industrielles (milliers ha)	Plantations villageoises (milliers ha)	Total superficies (milliers ha)	Total production (milliers tonnes)
Thaïlande			1 972,0	2 215,9
Indonésie	549,0	2795,0	3 344,0	1 714,0
Malaisie	195,0	1373,0	1 568,0	885,7
Inde	69,3	483,7	553,0	591,1
Chine			618,0	450,0
Vietnam			(?) 275,0	219,0
Côte d'Ivoire	70,0	25,8	95,8	108,6
Sri Lanka	58,0	100,0	158,0	95,7
Libéria	57,4	65,0	122,4	75,0
B Brésil	80,0	100,0	180,0	66,0
Philippines			88,1	64,0
Cameroun	39,0	5,0	44,0	56,1
Nigeria	65,0	136,8	225,0	80,0
Cambodge			60,0	40,0
Total			9 349,8	6 700,0

Source : IPSG.

L'Asie produit 92 % des sept millions de tonnes de caoutchouc naturel utilisé actuellement dans le monde, l'Afrique 7 %, l'Amérique latine le reste.

Longtemps premier producteur mondial, la Malaisie s'est progressivement effacée au profit de la Thaïlande et de l'Indonésie qui contribuent pour plus de 58 % à la production mondiale. Confrontée, dans ses zones traditionnelles de culture, à la concurrence du palmier à huile et à d'autres opportunités d'investissement d'un retour plus rapide, le développement de l'hévéa tend aujourd'hui à se déplacer vers des zones plus marginales sur le plan climatique, laissant craindre, à terme, un déséquilibre entre l'offre et la demande.

En effet, malgré le développement d'une gamme diversifiée de caoutchoucs de synthèse (neuf millions de tonnes/an), le caoutchouc naturel est resté un matériau stratégique en raison de propriétés physico-chimiques inégalées. Elles lui confèrent une large préférence technique dans l'industrie du pneumatique (70 % de ses utilisations), l'industrie du latex (8 %), les caoutchoucs techniques (câbles et joints 7 %), et les chaussures (5 %).

● L'organisation et les perspectives de la filière

Très structurée dans les pays d'hévéaculture les plus anciens (Malaisie, Inde...), la filière hévéa se caractérise globalement par :

- > une atomisation de la production en raison de la prédominance du secteur familial (85 % de la production du caoutchouc naturel provient des plantations villageoises) ;
- > un poids du secteur des plantations industrielles très variable d'un pays à l'autre (très faible en Thaïlande, très fort encore en Côte d'Ivoire par exemple) ;
- > une activité de première transformation des produits de l'arbre (latex, coagula...) assurée soit par les grandes sociétés de plantation qui, en plus de leur propre production, peuvent traiter celles des planteurs non usiniers (Afrique), soit par des usiniers indépendants (*remillers* d'Asie) ;
- > un réseau de collecte des produits plus ou moins développé selon le pays (très développé en Asie, beaucoup moins ou inexistant en Afrique et Amérique Latine), et reposant sur différents niveaux d'intermédiaires (*traders*) qui approvisionnent les centres d'usinage ;
- > un négoce fondé soit sur des marchés de gré à gré, aujourd'hui en pleine expansion, passés entre non facturiers et centres d'usinage, soit sur un réseau de négociants installés à la fois dans les pays producteurs et les pays consommateurs de caoutchouc ;
- > une implication encore forte de certains Etats dans l'encadrement des projets de développement familiaux mais qui tend toutefois à s'atténuer depuis le début des années 90 ;
- > une restructuration et une replantation du secteur familial financés longtemps (et parfois encore) par des taxes parafiscales (Thaïlande) ou des fonds de la Banque mondiale, de l'Agence française de développement et d'autres organisations internationales (Indonésie, Côte d'Ivoire), ou parfois par les deux (Malaisie) ;
- > une efficacité souvent limitée des services publiques de vulgarisation du fait de leur faibles moyens.

● Les questions posées à la recherche

Longtemps financée par les grands producteurs eux-mêmes, la recherche a très tôt accompagné le développement hévéicole. Elle a donné la priorité à la création d'un matériel végétal performant, au développement de systèmes d'exploitation productifs et à l'amélioration de la qualité du produit. Membres du Conseil international de la recherche et du développement du caoutchouc (IRRDB), les principales structures de recherche sur le caoutchouc dans le monde (au nombre de quinze), se sont assigné une mission de développement de systèmes de culture de l'hévéa optimisant :

- > le revenu des plantations familiales appelées à demeurer, dans les années à venir, la principale composante du développement hévéicole ;
- > la productivité du travail de la saignée ;
- > la constance du produit.

Les plus actives de ces institutions, au rang desquelles le CIRAD et les instituts de recherche sur le caoutchouc des principaux pays producteurs, font très largement appel aujourd'hui, aux outils les plus modernes de la recherche, tant dans le domaine de la socio-économie que dans ceux de la génétique, de l'écophysiologie et des biotechnologies.

Bibliographie

- BONNER J. ; *The history of rubber*. (USA) : USDA, 1991, p. 1-16.
- COMPAGNON P., *Le caoutchouc naturel*. Maisonneuve et Larose. 1986.
- DELABARRE M. and BEGNINO D., *Rubber. A pictorial technical guide for smallholders*. CIRAD. 1994.
- DELABARRE M. et SERIER J.B., *L'hévéa*. Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose. 1995.
- MILTHORPE P.; PATERSON JONES J.C. ; WHITWIRTH J.W.; ABEL G.; MILLER W.P. *Case histories of guayule production in Australia, South Africa and The United States*. 1991 p. 367-421.
- WEBSTER C.C. and BAULKWILL W.J. ; *Rubber*. Tropical Agriculture Series. Longman Scientific and Technical. 1989.

Les plantes insecticides

À partir d'une contribution de A. Caburet

- > *Derris elliptica*
- > Le neem

- > Le pyrèthre
- > Le tephrosia

DERRIS ELLIPTICA

Derris elliptica (Sweet) Bentham

Français : derris

Anglais : derris, tuba root

Famille des Fabaceae

C'est une liane pérenne, lignifiée, cultivée pour ses racines qui contiennent de la roténone, un insecticide non toxique pour l'homme et les mammifères. Sa biodégradabilité est rapide. Elle contient également d'autres substances toxiques, dont la tephrosine.

Cette légumineuse, originaire d'Inde, est cultivée dans toutes les zones tropicales. Les principaux producteurs sont la Malaisie, l'Indonésie et les Philippines. En Asie du Sud-Est, elle est très répandue à l'état sauvage, mais la teneur en roténone des variétés sauvages est très faible ; certaines ont des propriétés insecticides liées à d'autres composants.

Cette liane peut atteindre 16 m de long. Elle porte des feuilles composées de sept à quinze folioles elliptiques. L'inflorescence en racème porte des fleurs rosées de 1,5 cm de long. Les gousses, oblongues et aplaties, contiennent une à trois graines. La racine, d'environ 2 cm de diamètre, peut atteindre 2 m de long. Différents cultivars sont utilisés, qui diffèrent par la forme des folioles, la teneur en roténone, le niveau de récolte et la sensibilité aux maladies.

D. elliptica se développe en climat tropical humide (pluviométrie annuelle de 2 000 à 5 000 mm). C'est une plante de pleine lumière, qu'on trouve à l'état sauvage en lisière forestière. Il est préférable de la planter dans des sols pas trop argileux afin d'en extraire facilement les racines.

Elle se multiplie par boutures de tige d'environ 50 cm de long, portant au minimum trois bourgeons. Les boutures peuvent être plantées directement au champ ou en pépinière. Dans ce cas, les boutures sont plantées au champ au bout de deux à trois mois, à environ 1 m de distance.

La plante n'est pas sujette à des attaques d'insectes sérieuses. Une rouille peut causer des dégâts importants. Les racines sont récoltées au bout de deux ans, lavées et séchées. Sur les petites exploitations, le plant reste parfois en terre en vue d'une future récolte ; dans ce cas, on ne prélève pas les racines à la base du plant. Sur les grandes plantations, on récolte tout et on replante.

Les rendements moyens sont de 1 200 kg/ha de racines séchées. La teneur en roténone varie selon le cultivar et la taille de la racine : les plus petites (diamètre de 2 à 10 mm) en contiennent 8 à 12 %, les plus grosses environ 5 %. Les produits vendus sont les racines séchées emballées de manière étanche, ou de la poudre de racine ; celle-ci doit être conditionnée à l'abri de l'air, du soleil et des moisissures.

LE NEEM

Azadirachta indica A. Juss. Syn. : *Melia azadirachta* L. et *Melia indica* Brandis

Anglais : neem

Espagnol : nim, neem

Portugais : nim

Famille des Méliaceae

Le neem est un arbre originaire d'Inde et de Birmanie cultivé sous les tropiques, dans les régions arides et semi-arides. C'est un arbre à croissance rapide, planté comme arbre d'ombrage et d'ornement (le long des routes, dans les cours...). Le neem est également utilisé pour reconstituer des sols agricoles dégradés. Le bois est utilisé comme combustible et pour la construction, les poteaux, l'ébénisterie ; il résiste bien aux insectes xylophages.

Les graines et les feuilles broyées en poudre sont utilisées comme insecticide pour la conservation des récoltes (grains), en particulier contre les bruchidés des légumineuses. Elles contiennent en effet une substance insecticide, l'azadirachtine. Des graines on peut extraire une huile, utilisée en savonnerie, en mécanique, pour l'éclairage, en pharmacie et dans les produits cosmétiques.

Toutes les parties de l'arbre ont un usage en médecine traditionnelle. Les feuilles peuvent servir de fourrage pour les chèvres et les chameaux (malgré une légère amertume) ; elles contiennent 15 % de protéines. En Asie, les feuilles et brindilles sont utilisées comme paillis sur les cultures. Le résidu de l'extraction de l'huile des graines est utilisé comme engrais.

L'arbre, sempervirent sauf en cas d'extrême sécheresse, mesure 10 à 15 m de haut. Les branches sont très étalées. Les feuilles portent sept à dix sept folioles, lancéolés, acuminés, de 6 à 8 cm de long. Ses racines peuvent descendre jusqu'à 15 m de profondeur. Les fleurs disposées en panicules axillaires, blanchâtres, ont une odeur de miel. Le fruit est une drupe ellipsoïdale avec une graine, jaune vert à maturité, longue de 1 à 1,8 cm.

Cet arbre résiste bien à la sécheresse : il se développe correctement avec 450 à 1 150 mm de pluviosité annuelle, mais résiste à 150 mm. La température optimale de développement est d'environ 26°C. Les jeunes plants ne supportent pas le gel. Il se développe sur des sols très pauvres (sables lessivés) et tolère une légère salinité. Le pH optimal est de 5 à 6,8. Il ne tolère pas l'hydromorphie.

On plante les graines séchées à l'air, puis stockées dans du sable humide (leur durée de vie est d'un mois). On peut pratiquer le semis direct ou le bouturage. Des essais de multiplication *in vitro* ont été menés. Les jeunes plants doivent pousser de préférence avec un léger ombrage. Ils sont sensibles au feu.

La fructification démarre vers quatre ou cinq ans. Un arbre adulte produit 10 à 15 kg de graines par an. Le nombre de graines par kilo varie de 1 800 à 4 000.

LE PYRÈTHRE

Chrysanthemum

Français : pyrèthre

Espagnol : pelitre

Famille des Compositae

● La plante

Le pyrèthre est une plante herbacée vivace cultivée pour ses fleurs qui contiennent une substance insecticide, la pyrèthrine. Les tiges et les feuilles ne contiennent que très peu de pyrèthrine. Plusieurs espèces de *Chrysanthemum* contiennent de la pyrèthrine : *C. cinerariaefolium*, *C. roseum* et *C. marshalli*.

La pyrèthrine, inoffensive pour l'homme et les animaux à sang chaud, détruit immédiatement par contact de nombreux insectes rampants et volants. Elle est très utilisée à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de stockage de denrées alimentaires, mais également pour la protection des cultures. Elle se dégrade rapidement.

La culture du pyrèthre s'est surtout développée au Congo démocratique et au Kenya, mais elle est actuellement l'objet d'un regain d'intérêt : essais récents d'implantation aux Etats-Unis (culture irriguée en zone semi-aride) et recherches en cours pour son implantation dans la zone méditerranéenne.

Le pyrèthre est une plante d'altitude : on le trouve au-dessus de 1900 m en Afrique équatoriale, à 1800 m en Europe méridionale. Il demande une forte insolation. Il s'adapte à différents types de sols.

Le pyrèthre possède une racine pivotante. Les plants forment des touffes. Les fleurs portent deux types de fleurons : à la périphérie des fleurons blancs et stériles et au centre des fleurons à organes mâles et femelles, mais à fécondation croisée car les étamines arrivent à maturité avant le pistil.

● La culture

La multiplication se fait par éclats de souches ou par semis en pépinière (6 mois).

La préparation du sol doit être soignée car la culture ne supporte pas la concurrence herbacée et l'hydromorphie et elle ne protège pas le sol contre l'érosion. Il est donc conseillé de planter sur billons en terrain accidenté et sur planches en terrain plat dans les zones à forte pluviométrie.

Pour une plantation sur billons, les distances sont de 60 à 80 cm entre billons et 30 à 50 cm sur la ligne, soit une densité de 20 000 à 40 000 pieds/ha. Un kilogramme de semences donne 60 000 plants.

Si la mise en place est réalisée avec des éclats de souche, les plants fleurissent en général quatre mois après la plantation ; la production maximum a lieu en deuxième ou troisième année.

La récolte des inflorescences se fait au moment de la fécondation, par temps sec, et dure dix à quatorze jours. La production, sur quatre ans, est en moyenne de 3 t de pyrèthre sec/ha.

Le séchage des fleurs a lieu à l'ombre afin de ne pas diminuer la teneur en pyrèthrine. Il se fait à température progressivement croissante.

La production mondiale en 1999 a été de 13 350 t de fleurs séchées, dont 8 000 t produites par le Kenya et 2850 t par la Tanzanie, principaux producteurs.

LE TEPHROSIA

Tephrosia vogelii Hook.

Famille des Fabaceae

Toutes les parties du tephrosia contiennent de la téphrosine et de la roténone, substances insecticides. Pour les extraire, la plante est pilée. Le tephrosia est traditionnellement utilisé pour capturer les poissons qui s'empoisonnent mais restent comestibles. Il est également utilisé comme haie vive ou comme ombrage provisoire pour les caféiers. Son feuillage peut servir d'engrais vert.

C'est un arbuste robuste, à port buissonnant, de 2 à 3 m de haut, existant à l'état sauvage. Les feuilles, d'une vingtaine de centimètres de long, portent huit à quinze folioles de forme elliptique. Les tiges et les pétioles sont recouverts d'une pilosité roussâtre. Les fleurs, violacées, sont disposées en épi terminal. La gousse est poilue et plate, de 15 cm de long sur 1,5 cm de large. L'enracinement de *T. vogelii* est profond, ce qui permet une bonne résistance à la sécheresse.

Des essais réalisés au Zaïre ont démontré la bonne capacité d'adaptation de cette plante à des terrains acides, riches en alumine libre, où la nodulation n'est pas perturbée, contrairement à celle de *Leucena leucocephala*.

Bibliographie

- AHMED S., GRAINGE, M., 1986, *Potential of the neem tree (Azadirachta indica) for pest control and rural development in Economic Botany (USA)*, 1986. - vol. 40, n. 2, pp. 201-209.
- CARRARA A., VIAROUGE N., LE BOURGEOIS T., MARNOTTE P., 1998, *Détermination pratique de quelques espèces du genre Tephrosia, mauvaises herbes en Afrique de l'Ouest et du Centre* in Agriculture et développement (FRA), 1998. - n. 17, pp. 51-59.
- CHATTERJEE S. K. (ed.), 1988, *Fifth international symposium on medicinal, aromatic and spice plants in Acta Horticulturae (NLD), Calcutta (IND)* : IShS, 1988. - n. 188 A, 212 p.
- RATNADASS A., CISSÉ B., DIARRA D., THIÉRO C.A.T., 1997, *Utilisation de substances dérivées de plantes pour la protection insecticide du sorgho contre les foreurs des tiges et les ravageurs des panicules. Rapport d'essais*, Bamako (MLI) : CIRAD-CA, 1997/01. - 33 p.
- SCHMUTTERER H., ASCHER K.R.S., 1987, *Natural pesticides from the neem tree and other tropical plants*, Schriftenreihe der GTZ, Eschborn (DEU) : GTZ, 1987. - n. 206, 703 p.
- SUTTER E., BELLEFONTAINE R., 1989, *Données botaniques, sylvicoles et technologiques relatives à Azadirachta indica*, Nogent-sur-Marne (FRA) : CIRAD-CTFT, 1989. - 18 p.

Les plantes médicinales, cosmétiques, à parfum et à huiles

À partir des contributions de A. Caburet,
J.C. Follin (CIRAD), C. Hekimian Lethève

- > L'aleurite
- > L'arbre à encens
- > Le benjoin
- > Le camphrier
- > La citronnelle
- > L'eucalyptus citriodora
- > L'eucalyptus globulus
- > Le géranium
- > Le jojoba
- > Le karité
- > Le lemongrass
- > La myrrhe
- > Le patchouli
- > La pervenche de Madagascar
- > Le quinquina
- > Le ricin
- > Le vétiver
- > L'ylang-ylang

L'ALEURITE

Famille des Euphorbiaceae

Aleurites moluccana

Anglais : candlenut (oil) tree, lumbang tree, indian walnut

Espagnol : camirio, calumbán, lumbán

Portugais : noz da india

Famille des Euphorbiaceae

Aleurites fordii

Français : abrasin

Anglais : tung-oil tree

Espagnol : tunga, abrasín

Aleurites montana

Anglais : wood oil tree, mu oil tree

Aleurites cordata

Français : aleurite du Japon

Anglais : japanese tung oil tree

Espagnol : abrasín del Japon

Aleurites trisperma

Anglais : soft lumbang tree, balucanag nut, Philippine tung

Les aleurites produisent une huile siccative qui sert à la fabrication de vernis, peinture, savons, papier résistant à l'eau, isolant, laques, linoléum, toiles cirées, résines, cuir artificiel. À l'origine, elles servaient à la fabrication de bougies et de médicaments.

Aleurites Moluccana, originaire de Malaisie, Chine, Philippines, est cultivée au Sri Lanka, dans le sud de l'Inde, au Bangladesh et aux Etats-Unis. *Aleurites Montana*, originaire du sud de la Chine est cultivée en Birmanie, en Indochine, au Malawi, au Congo, en Afrique de l'Est et en Afrique du Sud.

Aleurites Moluccana peut atteindre 20 m de haut, ses feuilles palmées ont 30 cm de large. *Aleurites Montana*, en revanche, ne dépasse pas 5 m de hauteur, ses feuilles sont simples, de 12 cm de long et 10 cm de large, parfois trilobées.

Les aleurites se reproduisent par bouture ou par graine. Il faut compter trois à quatre mois de germination pour *Aleurites Moluccana* et deux à trois mois pour *Aleurites Montana* qui se repique à un an.

Aleurites Moluccana pousse dans les milieux humides, jusqu'à 1 200 m d'altitude, bénéficiant d'une pluviosité de 640 à 4 300 mm. La température moyenne annuelle doit être de 18 à 27°C. Le pH optimum est de 6,4.

Aleurites Montana préfère les régions subtropicales ou d'altitude avec pluies modérées, avec une pluviosité de 870 à 2 000 mm et une température moyenne annuelle de 15 à 26°C. Elle pousse bien dans les sols alluviaux, avec un pH de 5,5 à 8.

La production annuelle d'*Aleurites Moluccana* est de 30 à 80 kg de noix/arbre. *Aleurites Montana* commence à produire entre trois et six ans, la production est maximale à dix ans et elle produit jusqu'à quarante ans de 45 à 70 kg de noix/arbre/an.

L'huile représente 57 à 80 % du poids de la graine et 15 à 20 % du poids de la noix chez *Aleurites Moluccana*. La graine d'*Aleurites Montana* produit 50 à 60 % d'huile.

L'ARBRE À ENCENS

Boswellia carteri Birdw., *B. frereana* Birdw., *B. sacra* Flueck, *B. papyrifera*

Anglais : east african frankincense

Famille des *Burseraceae*

L'encens est obtenu à partir de la résine des espèces du genre *Boswellia*, qui forme des larmes arrondies de couleur jaune. Les espèces de *Boswellia* les plus importantes sont :

- > *B. carteri* Birdw. et *B. frereana* Birdw., qui font l'objet d'une exploitation en Somalie ;
- > *B. sacra* Flueck., rencontré au Yémen (en voie d'extinction) et dans le nord de la Somalie ;
- > *B. papyrifera*, rencontré à Djibouti, en Ethiopie, au Soudan et en Centrafrique.

Ces arbres sont originaires de la Corne de l'Afrique (Somalie, Djibouti) et du sud Yémen, où ils sont exploités par les populations nomades depuis très longtemps : la route de l'encens existe depuis 3 000 ans. En Somalie, la collecte de l'encens constitue encore une activité économique majeure (celui-ci est exporté). L'encens industriel, produit en Inde sous forme de bâtonnets, concurrence fortement l'encens naturel.

C'est un arbre qui demande un ensoleillement très fort. Les plantations sont réalisées à l'aide de boutures, plantées tous les 3 à 5 m ; la taille optimale de celles-ci est de 50 cm de long et 3 à 4 cm de diamètre.

L'arbre à encens a fait l'objet de peu de recherches, aussi nous disposons de peu de données agronomiques sur cette plante. Des techniques nouvelles de saignée (par operculation et scarification) ont été étudiées en Somalie et à Djibouti. La quantité d'encens récoltée varie, selon les collecteurs, entre 0,25 et 10 kg par arbre et par an. Un hectare produirait en moyenne 400 kg/an.

LE BENJOIN

Styrax benzoin et *Styrax tonkinense*

Anglais : styrax benzoin

Famille des *Styracaceae*

Le benjoin est un baume extrait du *Styrax*, arbre dont la hauteur dépasse fréquemment 10 m et dont on entaille le tronc pour récolter la résine. Chaque arbre donne environ 1,5 kg de résine. Le *Styrax* est principalement cultivé en Asie du Sud-Est. Le baume, de couleur jaune, brunit avec l'âge. Les baumes diffèrent des résines par la présence d'acide benzoïque ou cinnamique, à l'origine d'une odeur balsamique particulièrement perceptible lorsqu'ils sont chauffés.

LE CAMPHRIER

Cinnamomum camphora

Anglais : camphor tree ou China bark tree

Espagnol : alcanforero

Portugais : Àrvore da camphora

Famille des *Lauraceae*

Le camphrier est originaire d'Asie du Sud Est. Il peut être cultivé dans les régions subtropicales. Il a été introduit en Inde, au Sri Lanka, en Egypte, à Formose, à Madagascar, dans les Iles Canaries, au sud de l'Europe, en Californie, en Floride et en Argentine. Il est utilisé pour la production d'huile essentielle, pour la fabrication de vernis et de celluloïd. Le bois de camphre est un bois léger et imputrescible utilisé comme bois d'œuvre pour la fabrication de meubles et de boîtes d'entomologie. En effet, l'essence contenue dans le bois permet de le protéger de l'attaque des mites et des vers.

C'est un arbre sempervirent de grande taille (25 à 35 m de hauteur et jusqu'à 2 m de diamètre), aux feuilles de 12 cm de longueur. Les fleurs blanches sont disposées en bouquets et les baies sont rouges. Il existe deux types d'exploitation du camphrier :

- > coupe de l'arbre puis débit du tronc, des racines et des branches en petits morceaux. La production de camphre est plus importante sur des arbres anciens (à partir de 50 ans) ;
- > extraction à partir des feuilles ou des branches anciennes, ce qui permet de maintenir la plante en vie. Les feuilles et les branches peuvent être récoltées régulièrement dès cinq ans. Les arbres sont alors taillés et maintenus sous forme buissonnante. Ce type de culture est pratiqué en Chine.

La distillation permet d'obtenir de l'huile et des cristaux de camphre. La disponibilité de camphre synthétique (turpentine) à des prix très concurrentiels a entraîné une forte diminution de la demande internationale en camphre naturel. Ce dernier est essentiellement produit en Chine, qui pratique les prix les plus compétitifs.

LA CITRONNELLE

Cymbopogon nardus et *Cymbopogon winterianus*

Anglais : citronella grass

Espagnol : cidronela

Portugais : citronella

Famille des Poaceae

● La plante

C. winterianus est appelée citronnelle de Java et *C. nardus* citronnelle de Ceylan. Ces deux graminées sont parfois considérées comme une même espèce, bien que présentant de légères différences morphologiques. Leurs feuilles contiennent deux composés aromatiques, le géranol et le citronellal, extraits par distillation à la vapeur, et utilisés en savonnerie essentiellement. *C. winterianus* a une importance économique nettement supérieure. L'essence extraite est en effet de meilleure qualité. Elle est probablement originaire du sud de l'Inde ou du Sri Lanka, et sa culture s'est d'abord développée à Java. Actuellement, on la cultive partout sous les tropiques.

C. nardus est cultivée au Sri Lanka, car elle s'adapte mieux que *C. winterianus* à des sols pauvres et à des périodes de sécheresse. Son essence n'est pratiquement pas exportée.

Les deux plantes sont formées de touffes épaisses, à feuilles très étroites, à bords coupants. Les feuilles de *C. winterianus* sont un peu plus larges, plus courtes et moins rugueuses que celles de *C. nardus*. Les tiges de *C. winterianus* peuvent atteindre 2,5 m de haut ; les feuilles sont engainantes.

Ces graminées demandent un climat chaud et humide : 2 000 à 2 500 mm de pluviosité annuelle moyenne, régulièrement répartie. L'irrigation est pratiquée lorsque le climat présente une saison sèche. La température moyenne optimale est de 22 à 27°C.

● La culture

C. winterianus est multipliée par éclats de souches, ce qui est plus rapide et plus sûr que la plantation de graines. Les plants, disposés en carrés, sont distants de 60 à 90 cm ; un faible écartement limite la présence de mauvaises herbes. La première récolte a lieu six à douze mois après la plantation et ensuite trois ou quatre fois dans l'année. Les cultures sont remplacées au bout de cinq à six ans en moyenne. Les rendements moyens de *C. winterianus* vont de 10 à 30 t/ha. La teneur en huile varie fortement selon les régions et les saisons : de 0,3 % à 1,8 %.

L'EUCALYPTUS CITRIODORA

Eucalyptus citriodora Syn. : *Corymbia citriodora*

Anglais : lemon-scented gum

Espagnol : eucalypto

Portugais : eucalipto

Famille des Myrtaceae

Cet arbre est cultivé pour l'essence que l'on extrait des feuilles par distillation, pour son bois (fût bien droit), et en tant qu'ornement. Le principal composant de l'essence est le citronellal que l'on extrait également de la citronnelle. Un produit dérivé, l'hydroxycitronellal, est très utilisé en parfumerie. L'essence brute d' *E. citriodora* entre dans la composition de parfums bon marché, de savons et produits désinfectants.

Originaire d'Australie, *Eucalyptus citriodora* a été planté à des fins commerciales dans beaucoup de pays, notamment au Brésil, en Chine, en Inde, au Sri Lanka et en Afrique. Les trois principaux pays producteurs d'essence sont la Chine, le Brésil et l'Inde. *E. citriodora* est un arbre pouvant atteindre 50 m de haut. La faible aptitude de cette espèce à lutter contre la concurrence herbacée due à son couvert léger et au port pendant de ses feuilles, limite son emploi en zone tropicale humide. Il se développe au mieux avec une pluviosité annuelle de 650 à 1 200 mm et une température moyenne annuelle de 17 à 28°C.

L'eucalyptus est multiplié par semis en pépinière, directement en pots ; la transplantation à racines nues est en effet délicate. Les risques de maladies et parasites sont essentiellement la fonte des semis et les attaques des jeunes plants par les chenilles. Les plants sont installés définitivement lorsqu'ils atteignent 40 à 50 cm. La densité de plantation recommandée pour la production d'essence est de 2 222 plants/ha (3 m sur 1,5m). Le semis direct a été réalisé avec succès dans des conditions optimales de préparation du sol.

L'EUCALYPTUS GLOBULUS

Eucalyptus globulus Labill

Anglais : blue gum

Espagnol : eucalypto

Portugais : eucalipto

Famille des Myrtaceae

Cet arbre est cultivé essentiellement pour la production de bois d'œuvre, de bois de service, et de pâte. On extrait par distillation des feuilles (occasionnellement des rameaux) une essence riche en cinéole, produit à note camphrée, utilisé en pharmacie et en parfumerie : il donne du *tonus* aux parfums. L'essence extraite est appelée *essence d'eucalyptus médicinale*, terme qui s'applique également à une essence riche en cinéole extraite d'une espèce de camphrier.

L'espèce comprend quatre sous-espèces : subsp. *maidenii*, subsp. *pseudoglobulus*, subsp. *bicostata*, subsp. *globulus*. Cette dernière est la plus répandue en dehors de son aire d'origine, du fait de sa grande faculté d'adaptation.

Elle est plantée en régions tropicales d'altitude en Afrique de l'Est (jusqu'à 3 000 m), ainsi que la sous-espèce *maidenii*. La sous-espèce *bicosta* contiendrait, selon des recherches menées en Inde, davantage de cinéole que la sous-espèce *globulus*. Les principaux producteurs d'essence de cinéole sont la Chine, le Portugal et l'Espagne, l'Afrique du Sud, le Brésil, l'Australie et l'Inde.

LE GÉRANIUM

Pelargonium l'Herit. var. Rosat

Anglais : rose geranium

Espagnol : gerania

Portugais : gerânio

Famille des Geraniaceae

● La plante

Le géranium est une plante vivace. Ses feuilles produisent une huile essentielle dont l'odeur ressemble à celle de la rose. Ce parfum est dû à la présence de citronellol et de géraniol. L'essence de géranium entre dans la composition d'eaux de toilette haut de gamme et de divers produits cosmétiques. Le prix de vente de cette essence dépend de la qualité : la Réunion produit une essence de qualité supérieure (géranium *Bourbon*), la Chine vend de l'essence d'une qualité moindre.

Le géranium est originaire d'Afrique du Sud. Les principaux producteurs d'essence de géranium sont la Chine, l'Égypte, le Maroc et la Réunion ; les autres producteurs importants sont l'Algérie, l'Inde et certains pays de la CEI. Le cultivar le plus répandu à la Réunion est un hybride entre *P. capitatum* et *P. radens*. D'autres cultivars sont issus d'hybridations entre *P. graveolens*, *P. radens* et *P. capitatum*.

C'est une plante qui peut atteindre 1 m de haut. Les rameaux lignifient au bout de cinq à six mois ; les fleurs sont rose clair tirant au mauve. Les conditions climatiques influencent beaucoup la teneur en huiles essentielles (qualité et quantité). La température optimale de croissance est de 20-25°C ; le zéro de croissance est à 6°C, et la température maximale supportée de 42°C. La pluviosité annuelle moyenne souhaitable est de 1000 à 1500 mm. Le géranium a besoin de beaucoup de lumière. Il est très sensible au vent. Les sols doivent être bien drainés et leur pH compris entre 5,5 et 8.

● La culture

La durée de vie d'une plantation peut atteindre dix ans. La multiplication se fait par bouturage, à des écartements de 1,2 m à 1,8 m entre lignes et de 0,25 m à 0,50 m sur la ligne (densités de 12 000 à 16 000 plants/ha). La bouture est plantée profondément dans le sol, de manière inclinée. Un désherbage régulier est nécessaire car le géranium est très sensible à la concurrence.

Le géranium conduit en sec résiste mieux aux maladies qu'en culture irriguée. Les principales maladies sont fongiques (anthracnose, alternariose, cercosporiose, fusariose, rouille...). Certaines variétés sont résistantes à l'anthracnose. Des champignons du sol peuvent contaminer les plants en cas de forte humidité du sol.

La récolte des feuilles a lieu deux à trois fois par an, la première se situant sept à huit mois après la plantation. Il faut éviter de récolter par temps humide ou après des pluies importantes (diminution de la teneur en huiles essentielles). Les plants sont coupés, manuellement ou mécaniquement, entre 12 et 20 cm au-dessus du sol. Le rendement moyen à la Réunion est de 18 t/ha de matière verte. En Tunisie, le rendement en culture non irriguée est de 20 à 25 t/ha et en irrigué il atteint 30 t/ha.

LE JOJOBA

Simmondsia chinensis (link) Schneider

Anglais : jojoba

Espagnol : jojoba

Portugais : jojoba

Famille des *Buxaceae* (ou *Simmondsiaceae*)

● Les utilisations du jojoba

Le jojoba est un arbuste dont les fruits contiennent jusqu'à 60 % d'une cire liquide, exempte de triglycérides, composée d'esters associant un acide gras à longue chaîne carbonée et un alcool. Cette cire présente les mêmes propriétés que l'huile de blanc de baleine. Ses utilisations sont multiples, sous forme de cire liquide (cosmétiques, pharmacie, lubrifiants, etc.), de polymères à pont sulfuré (vernis), ou de dérivés alcools ou acides (plastifiants, résines, émulsifiants, etc.).

● La plante et son environnement

Le jojoba n'existe à l'état naturel que dans une région de l'Arizona et dans l'Etat de Sonora au Mexique d'où il est vraisemblablement originaire. Son utilisation par les Amérindiens est très ancienne et son intérêt a été redécouvert par les chercheurs américains lors de la seconde guerre mondiale.

Le jojoba est une plante dioïque dont le sexe ne peut être distingué qu'après l'apparition des fleurs. Les bourgeons apparaissent à l'automne et restent dormants jusqu'aux premières chaleurs du printemps. Cependant cette dormance n'est levée que s'il y a eu des températures basses et une humidité suffisante du sol pendant l'hiver. Le fruit est une capsule déhiscente de une à trois loges donnant des graines de 0,5 à 1,5 cm. Dans de bonnes conditions la première récolte a lieu vers cinq ans et la pleine production est atteinte vers dix ans. Dans la population naturelle, il existe une grande variabilité génétique et des travaux de sélection ont été entrepris en Australie où des cultivars adaptés aux régions tempérées du pays ont été isolés.

L'habitat naturel du jojoba s'établit entre 23 et 34° de latitude Nord. Son écologie s'étend du climat méditerranéen au climat tropical mais il convient d'être très prudent car sa présence dans des zones désertiques a conduit à sous-estimer les difficultés de sa culture. C'est une plante très résistante à la sécheresse mais qui demande à être irriguée pendant les premières années de sa vie. Elle n'accepte ni nappe phréatique proche de la surface du sol, ni l'inondation.

Des températures froides sont nécessaires pour initier la fructification, mais des températures négatives affectent la plante jusqu'à la détruire à partir de - 4°C. Enfin, les jeunes plants sont très sensibles à la compétition des mauvaises herbes.

● La culture

La plantation se fait en double densité avec éclaircissage lorsque les sexes sont identifiables. On laisse alors de 5 à 10 % de plants mâles. Les densités recommandées vont de 1 000 à 2 000 pieds/ha. Dans les premiers stades, les interlignes doivent être griffés et maintenus très propres.

La récolte se fait à la main ou à la machine, en ramassant par aspiration les graines tombées sur le sol. Les rendements en Australie sont de 1 à 2 t/ha, ce qui rend problématique la rentabilité de la culture. Cependant des rendements de 3 à 4 tonnes sont rapportés dans certaines publications. Compte tenu de la faiblesse des travaux de recherche sur cette culture, d'importantes améliorations sont vraisemblablement possibles.

● La production actuelle et les perspectives

L'ONUDI estimait, en 1995, la demande annuelle potentielle à 65 000 tonnes mais la production reste très faible (quelques centaines de tonnes) et ne progresse pas. L'avenir de ce produit, certes remarquable mais trop cher, est lié à l'augmentation de l'offre et à la baisse concomitante du prix. Faute de quoi l'utilisation de l'huile de jojoba restera limitée à des produits de luxe ou des produits stratégiques.

LE KARITÉ

Butyrospermum (syn. *Bassia*) *parkii*

Anglais : Shea butter tree

Espagnol : Arbol mantequeiro

Famille des Sapotaceae

● Les utilisations du karité

Le karité est un arbre dont l'amande des fruits contient 45 à 55 % d'une huile solide au-dessous de 33°C. Ce beurre constitue un élément important de l'alimentation traditionnelle de certaines régions d'Afrique, où il est aussi utilisé en pharmacopée et en cosmétique. Dans l'industrie, il est principalement utilisé pour la fabrication de cosmétiques, en parfumerie et comme succédané au beurre de cacao. Les cellules à latex de l'écorce peuvent aussi fournir une gomme à mâcher identique à celle des autres sapotacées.

● **La plante et son environnement**

Le karité n'existe à l'état naturel que dans les zones soudaniennes et sahéliennes d'Afrique du nord de l'équateur (isohyètes 500 à 1 300 mm), dans des sols bien drainés. La diversité morphologique est très grande et, classiquement, on distingue trois formes : *Mangifolia*, *Poissoni* et *Nilotica*. L'arbre mesure de 15 à 20 m de hauteur et devient adulte vers vingt ans, la production maximale intervenant à partir de trente cinq ou quarante ans. Les densités moyennes dans les zones d'exploitation sont de 15 à 30 pieds à l'hectare. Les tentatives de création de verger planté sont basées sur des densités de 150 à 200 pieds/ha. La floraison se produit en début de saison sèche, après la chute des feuilles. Les fruits arrivent à maturité quatre à cinq mois plus tard. Les arbres peuvent être attaqués par plusieurs espèces d'épiphytes (*Loranthus spp.*), les feuilles par une chenille défoliatrice : *Cirina butyrospermi* Vuillot (saturniidés - lépidoptères).

● **La récolte et les opérations post-récolte**

Chaque arbre produit en moyenne de 15 à 20 kg de fruits (soit 3 à 4 kg d'amandes). Les fruits sont déulpés après fermentation. Les noix, éventuellement ébouillantées, sont séchées puis stockées jusqu'à l'époque de la commercialisation ou pour leur utilisation au fur et à mesure des besoins familiaux.

L'extraction traditionnelle se fait par broyage des amandes, adjonction d'eau et récupération par décantation après ébullition. Cette technique permet d'obtenir 13 à 15 % du poids d'amande en huile. Il existe des presses hydrauliques artisanales qui permettent de récupérer 35 à 40 % du poids des amandes. Enfin, la production industrielle se fait soit par pression mécanique continue (42 à 45 % de taux d'extraction), soit par extraction à l'hexane, après pression pour les usages autres que la pharmacopée et les cosmétiques.

● **La production actuelle et les perspectives**

La production de noix de karité est limitée aux pays d'Afrique de l'Ouest et estimée à 600 000 t dont la moitié pour le Nigeria, suivi par le Mali (85 000 t) et le Burkina Faso (70 000 t). La demande est croissante et l'autorisation européenne d'utiliser, dans l'industrie cacaoyère, un certain pourcentage d'oléagineux autres que le beurre de cacao peut être un facteur de développement de cette spéculation.

Cependant l'intensification de la culture par création de plantations se heurte à des problèmes techniques difficiles (multiplication par semences ou par voie végétative, hétérogénéité dans la morphologie et la production des arbres), compliqués par le temps très long nécessaire à l'obtention de la première récolte. Les avancées dans les domaines de l'analyse du génome et de l'embryogenèse somatique peuvent offrir des solutions nouvelles à ces problèmes.

LE LEMONGRASS

Cymbopogon citratus et *Cymbopogon flexuosus*

Anglais : malabar orcochin grass

Espagnol : herba limón

Portugais : capim limão

Famille des Poaceae

Ces deux graminées pérennes sont cultivées pour la production d'essences issues de la distillation des feuilles. Parmi les composants extraits le citral (75 % de la composition) donne une odeur citronnée, à laquelle d'autres composants ajoutent une odeur herbacée. Le citral est utilisé tel quel en parfumerie, mais peut également être transformé en composés dotés d'une odeur de violette (ionones), également utilisés en parfumerie. L'essence de lemongrass est surtout utilisée actuellement pour parfumer des produits à usage ménager, aux Etats-Unis et en Europe.

Cymbopogon flexuosus est spontané en Inde et Asie du sud-est ; il est cultivé de manière importante en Inde, Indonésie et à Madagascar. On le trouve dans les jardins de toute la zone tropicale ; on l'appelle *lemongrass des Indes Orientales*.

Cymbopogon citratus est cultivé en Asie du Sud et du sud-est depuis très longtemps ; sa culture s'est ensuite développée à large échelle en Amérique du Sud et centrale, dans l'Océan Indien et en Afrique. La base des feuilles est utilisée dans les plats cuisinés en Asie du sud-est.

Ces graminées produisent de grosses touffes de feuilles, qui peuvent atteindre 1 m de diamètre. Les tiges atteignent parfois 2 à 3 m de haut. Elles se développent à des températures moyennes de 23 à 30°C, dans un climat sans saison sèche marquée, avec 2 500 à 3000 mm de pluviosité annuelle. Elles demandent un fort ensoleillement. Les sols doivent être bien drainés.

C. citratus fleurissant rarement, il est multiplié par éclats de souches. *C. flexuosus* est généralement multiplié par graines, la multiplication par éclats de souche étant plus aléatoire. Si les plants sont produits en pépinière, il faut 10 kg de graines par hectare de culture ; si on pratique le semis direct, 35 kg de semences sont nécessaires. Un léger apport d'engrais azoté à la plantation et après chaque récolte est généralement pratiqué.

Les plantations doivent être désherbées deux à trois fois avant la récolte ; celle-ci a lieu six à huit mois après la plantation ; des coupes sont pratiquées toutes les six à sept semaines, pendant trois à quatre mois. La récolte est faite par temps sec, les feuilles sont coupées à 10-20 cm au-dessus du sol. La teneur en huiles est plus forte si la récolte a lieu en saison sèche : elle varie entre 0,25 et 0,6 %. Les rendements moyens en Inde sont de 15 à 20 t/ha de feuilles avec *C. flexuosus* et de 30-50 t/ha de feuilles avec *C. citratus*.

LA MYRRHE

Commiphora spp.

Anglais : myrrh

Famille des *Burseraceae*

La myrrhe est avec l'encens la plus ancienne substance aromatique utilisée comme parfum. Elle est obtenue à partir de la résine s'écoulant du tronc des espèces du genre *Commiphora*. Il existe de nombreuses espèces de *Commiphora*, la plupart ayant des vertus médicinales : *C. abyssinica*, *C. africana*, *C. erythraea*, *C. molmol*, *C. mukul*, *C. myrrha*, en voie d'extinction.

La myrrhe du Sénégal est obtenue avec la résine de *C. africana* (A. Rich.) ou *Balsamodendron africanum* Arn. C'est un petit arbre à feuilles caduques, qui pousse dans toute l'Afrique tropicale sèche. Il donne de petites fleurs rouges, de très petits fruits ronds ou elliptiques, rouges à maturité. Il se reproduit facilement par boutures et on l'utilise pour fabriquer des haies vives.

LE PATCHOULI

Pogostemon sp.

Anglais : patchouli

Espagnol : pachuli

Portugais : patchouli

Famille des *Labiaceae*

C'est une plante vivace cultivée pour ses feuilles, dont on extrait une essence.

La taxonomie des différents cultivars n'est pas bien connue (quatre familles identifiées actuellement). Les deux espèces de *Pogostemon* productrices d'essences sont *P. cablin* (Blanco) Benth. et *P. heyneanus* Benth.

La culture du patchouli est très répandue en Asie du Sud et du sud-est et jusqu'en Chine ; elle a été introduite dans toutes les régions tropicales et subtropicales. Les principaux producteurs d'essence sont Sumatra (80 % de la production mondiale), puis la Chine, le Brésil, la Malaisie et les Seychelles.

P. cablin et *heyneanus* s'adaptent à différentes conditions climatiques. On les rencontre sous les tropiques jusqu'à 2 000 m d'altitude. En-dessous de 1 500 mm de pluviosité annuelle l'irrigation est nécessaire. *P. cablin* s'accommode de sols peu fertiles.

La multiplication se fait par boutures ou graines pour *P. heyneanus*, par boutures pour *P. cablin*. Les boutures sont plantées soit en pépinières, soit directement au champ. Les écartements au champ sont de 60 x 60 cm. La première récolte a lieu six à huit mois après l'installation de la culture, puis tous les trois à cinq mois, en saison humide si possible. La qualité de l'huile diminue au bout de trois ans. Le rendement moyen est de 40 à 60 kg d'essence par hectare en Indonésie.

LA PERVENCHE DE MADAGASCAR

Catharantus roseus

Anglais : Madagascar periwinkle, periwinkle

Espagnol : vicaria

Portugais : pervinca

Famille des *Apocynaceae*

Originaire de Madagascar et des Indes, la culture de la pervenche de Madagascar a été propagée dans les régions chaudes.

La plante contient environ 70 alcaloïdes qui ont la particularité de faire diminuer le taux de sucre dans le sang, de baisser la pression sanguine et de stopper les hémorragies. Elle est utilisée entre autres dans le traitement du diabète et pour diminuer l'effet des piqûres de guêpe. Elle contient également deux molécules qui ont des propriétés anti-mitotiques, utilisées dans la lutte contre le cancer.

C'est une plante pérenne, sempervirente, de 30 à 60 cm de haut environ. La propagation de la plante par semis est possible mais entraîne un retard de la floraison. La reproduction par bouturage est conseillée car elle permet une floraison rapide. La plante a une croissance de 25 cm/an.

Elle se développe aussi bien dans un environnement herbacée ensoleillé que dans un milieu ligneux ombragé. Elle tolère la chaleur, la sécheresse et les sols pauvres (sables littoraux dunaires), mais préfère les sols humides bien drainés avec une fertilité moyenne.

LE QUINQUINA

Genre *Cinchona*, espèces *ledgeriana* et *succirubra* (il existe une quarantaine d'espèces de quinquina)

Anglais : ledger bark tree

Espagnol : cascarilla verde

Portugais : quinino

Quinquina rouge officinal : *Cinchona succirubra*

Famille des *Rubiaceae*.

C. succirubra est plus vigoureux et exigeant que *C. ledgeriana*. *C. succirubra* fournit des porte-greffes pour la culture de *C. ledgeriana*.

● La plante et ses utilisations

Le quinquina est cultivé pour son écorce qui contient de la quinine, aux propriétés analgésique et antimalariale. La quinine peut être transformée en quinidine qui agit sur le rythme cardiaque. *C. ledgeriana* contient de 5 à 14 % d'alcaloïdes et de 3 à 13 % de quinine, et *C. succirubra* contient de 8 à 16 % d'alcaloïdes et de 4 à 14 % de quinine. La quinine est également utilisée dans des boissons gazeuses auxquelles elle donne de l'amertume.

Au XIX^e siècle, les graines de certaines variétés de quinquina ont été exportées sur l'île de Java par les Hollandais et à Ceylan par les Anglais qui souhaitaient produire de la quinine en grande quantité.

Originaire des Andes où il pousse naturellement, le quinquina est cultivé dans de nombreux pays tropicaux. Le Congo démocratique est le principal producteur d'écorce aujourd'hui, suivi par le Burundi, le Cameroun et le Kenya. L'arbre pousse entre 1 500 et 3 000 m d'altitude dans des conditions d'humidité et de température élevées. Il a peu de problèmes de parasites.

Le quinquina est un arbre pouvant atteindre 10 à 20 m de haut, à feuilles persistantes semblables aux feuilles du laurier. La floraison a lieu 3 à 4 ans après la plantation. Le fruit est une capsule de 1 à 3 cm de long. La quinine est concentrée dans les racines, le tronc et les branches.

● **La culture et la récolte**

Le quinquina peut être reproduit par semis, bouturage et greffage. Les graines sont plantées à l'ombre dans un sol sableux humide, jusqu'à ce que les plants mesurent 5 cm. Ils sont alors éclaircis. Lorsqu'ils ont 23 cm, ils sont plantés à un écartement de 60 cm x 60 cm.

Après dix ans, quand la teneur en quinine est maximale, on procède à la récolte de l'écorce : les troncs sont raclés avec des bâtons et l'écorce épluchée est enlevée. L'écorce se régénère partiellement et est à nouveau enlevée. Après plusieurs cycles d'écorçage l'arbre est déraciné. La concentration de quinine augmente dans l'écorce à mesure de l'écorçage.

Actuellement, les plantations de quinquina reprennent en raison d'une demande en quinidine pour la thérapie cardiaque. 300 à 500 t de quinine sont extraites chaque année de 5 000 à 10 000 t d'écorce. La moitié de la récolte est destinée à l'industrie agro-alimentaire. 30 à 50 % sont transformés en quinidine pour l'industrie pharmaceutique.

LE RICIN

Ricinus communis

Anglais : castor bean, castor oil plant

Espagnol : ricino comun, higuerrillo

Portugais : rícino

Famille des Euphorbiaceae

● **Les utilisations du ricin**

Originaire d'Afrique de l'Est (Abyssinie) et d'Asie, le ricin croît naturellement dans de nombreux pays tropicaux. Il est cultivé en Asie, au Brésil, dans la CEI, au Mexique et aux Etats-Unis, principalement pour son huile issue des graines. Cette huile a longtemps été utilisée en pharmacopée pour ses propriétés purgatives. Elle contient une protéine unique : l'acide ricinoléique.

Les usages industriels dominant aujourd'hui : fabrication de lubrifiants, plastiques, peintures et teintures. Ses caractéristiques en font un excellent lubrifiant pour les armes et dans l'aviation : résistance à la chaleur, point de congélation bas, viscosité élevée et constante quelle que soit la température, faible solubilité dans l'essence. Dans les pays tempérés, des variétés ornementales ont été sélectionnées.

● La plante

C'est une plante annuelle dans les climats tempérés à gelées assez fortes, pérenne et arborescente dans les pays tropicaux. Sa taille varie selon les variétés et les conditions du milieu (80 cm à 8 m). Elle possède une racine pivotante et des racines latérales qui se développent à la surface du sol. Les tiges sont ramifiées, parfois dès la base, de couleur rouge pourpre ou vert. Les feuilles alternes sont munies d'un pétiole de 20 à 40 cm de longueur. Le limbe est palmé et son diamètre mesure de 20 à 40 cm. Les fleurs sont groupées en grappes de couleur gris blanc ou rouge marron. Les inflorescences sont terminales ou axillaires et dressées, pyramidales ou arrondies, plus ou moins denses. Chez certaines variétés, les fleurs femelles se trouvent dans la partie haute de l'inflorescence et les fleurs mâles dans la partie basse. Après fécondation, les fleurs mâles se détachent de la grappe.

Chaque grappe porte de quinze à quatre-vingt fruits. Le fruit est une capsule verte ou rouge, couverte de poils plus ou moins coriaces. Certaines variétés possèdent des fruits déhiscents s'ouvrant en six valves qui libèrent trois graines. D'autres variétés sont indéhiscents et leurs capsules doivent être brisées pour séparer les graines. Ces variétés sont utilisées pour la culture mécanisée.

La graine est constituée d'un tégument externe cassant et épais, sous lequel se trouve une membrane d'aspect soyeux mince qui adhère à la graine. Les graines de ricin peuvent contenir de 35 à 55 % d'huile. Les graines, les feuilles et les tiges contiennent des protéines toxiques pour l'homme et les animaux. Les animaux doivent être maintenus à l'écart de cette plante (25 g de graines de ricin sont létaux pour un cheval). Le ricin se propage par graines. Le polymorphisme des ricins est important, ce qui engendre une grande confusion dans leur classification (voir le tableau 1).

Selon la classification de Larroque, il existerait quatre espèces de ricin : *R. communis minor*, *R. communis major*, *R. persicus* et *R. zanzibarensis*. D'autres classifications (Eberhardt et Dubard) considèrent qu'il n'existe qu'une espèce (*R. communis*) et six variétés. Celles-ci coïncident dans leur description avec les espèces *R. communis minor*, *R. communis major*, *R. zanzibarensis* décrites par Larroque mais diffèrent pour les trois autres espèces. Eberhardt présente les variétés suivantes : *R. communis* var *viridis*, *R. communis* var *inermis* et *R. communis* var *sanguineus* qui sont considérées par Larroque comme étant des variétés de *R. communis Minor* (*R. communis* var *sanguineus* et *inermis*) et de *R. persicus* (*R. persicus* var *inermis*).

Tableau 1. Les différentes variétés de ricin

	<i>Ricinus communis</i> <i>Minor</i>	<i>Ricinus communis</i> <i>Major</i>	<i>R. persicus</i>	<i>R. zanzibarensis</i>
Hauteur	De 0,2 à 1,5 m	1,5 à 3 m	3 à 4 m	3 à 7 m
Durée de végétation	2 ans maximum	annuelle	annuelle (cultivée) vivace	pérenne vivace
Tiges	très ramifiées à la base, grêles	vertes, sans revêtement, cireux, moins ramifiées	port élançé, peu de ramification	aspect arbustif, tiges peu ramifiées mais de diamètre élevé (jusqu'à 15 cm de diamètre pour le «tronc»)
Feuilles	petites, dentelées, de 15 à 30 cm de diamètre, pétiole court	vertes, petites, lobes peu nombreux	de 30 à 50 cm de diamètre nombreux lobes (8 à 11), pétiole de 30 à 50 cm de long	jusqu'à 80 cm de diamètre nombreux lobes (9 à 13), peu profonds, pétiole de 70 à 80 cm de long
Inflorescences	nombreuses, coniques	coniques	peu nombreuses, longues coniques et compactées	courtes, pyramidales ou ellipsoïdes
Flours	petites et nombreuses	moins nombreuses		
Fruits	petits, sphériques,	moyens	gros, oblongs	globuleux, gros
Précocité	hâtives	tardives		
Déhiscence	facile pour les variétés hâtives	difficile	difficile	
Graines				
– couleur	Gris clair ou marron clair selon la variété,	gris ou pourpre	marron à rouge	blanc tacheté de marron ou l'inverse, gris
– poids d'1 graine	0,1 à 0,25 g	0,35 g	0,35 à 0,40 g	0,80 à 0,90 g
– % d'amande	68 %	73 %		
– % de matière grasse par rapport à la graine entière	45 à 47 %	46 à 48 % qualité moindre		
Zone de culture principale	Inde, Madagascar	Inde, Madagascar		Afrique de l'Ouest

● La culture

Le ricin peut être exploité comme culture annuelle jusqu'à 52° de latitude Nord. Comme culture pérenne il ne dépasse pas 40° de latitude Nord. C'est une plante sensible au gel, héliophile, dont la durée de croissance est comprise entre cent quarante et cent quatre-vingts jours pendant lesquels la température doit rester élevée. Il nécessite des précipitations annuelles comprises entre 700 et 1 200 mm, bien réparties en cinq à six mois pendant le début de la croissance, suivies d'une longue saison sèche qui permet aux graines de mûrir. En climat très humide et chaud, la plante a un développement végétatif trop important qui se réalise au détriment de la fructification. Il faut alors effectuer une taille qui permet une production correcte de fruits. Le ricin préfère des sols limoneux voire argileux, profonds. Il peut également se développer sur des sols alcalins ou acides dans la mesure où le sol est perméable et bien drainé. Il nécessite des sols riches en acide phosphorique et potasse.

Comme cette culture peut épuiser le sol, on cherche à préserver sa fertilité par le maintien des résidus de culture sur le champ, l'apport d'engrais organiques et minéraux et une succession culturale caractérisée par la présence du ricin une fois tous les quatre ans.

Pour des plantations industrielles, il est recommandé de semer à des densités élevées (9 à 12 kg/ha). Le semis est réalisé entre 3 et 7 cm de profondeur, quand la température du sol est d'au moins 10°C et que le sol est humide. Le traitement des graines avec un fongicide est recommandé dans les zones où les températures sont faibles et où l'humidité du sol est élevée au moment du semis.

Pour une culture annuelle, l'interligne est de 70 à 80 cm avec 10 à 15 cm entre chaque pied. En culture pérenne, l'interligne peut varier de 1 à 2 m voire plus. On sème deux à trois graines par poquet. La germination est lente et nécessite un sol humide. Les plantules sortent dix à vingt-et-un jours après le semis. Quand elles atteignent 10 à 15 cm de hauteur, on procède au démariage en laissant seulement un pied par poquet. Le ricin croît lentement : il faut donc veiller au contrôle des adventices. La maturité a lieu quatre à six mois après le semis.

Un écimage peut avoir lieu en culture annuelle si le développement végétatif est trop important. Pour la culture pérenne, l'écimage est obligatoire après la récolte pour limiter la taille de la plante.

Le ricin attire les insectes du fait de l'humidité et de la fraîcheur qu'offrent ses feuilles. Les principaux ravageurs sont des lépidoptères (*Noctua melicerta*, *Phycita diaphana*) dont les chenilles se nourrissent des feuilles. On trouve également quelques coléoptères et des hyménoptères.

Les principales maladies sont dues à *Botrytis cinera* (pourriture grise), *Melanpsorella ricini* (rouille qui entraîne la chute des feuilles) ainsi qu'à des *Cercospora* et des *Phytophthora*.

● La récolte et les opérations post-récolte

La récolte peut débuter lorsque les capsules sont sèches et que les feuilles se sont détachées de la tige. Dans les zones où il gèle, la récolte doit commencer environ dix à quatorze jours après les premiers gels. En récolte mécanisée, les tiges sont coupées et battues quand une grande partie des capsules est arrivée à maturité. Pour une récolte manuelle, les capsules sont récoltées au fur et à mesure de leur maturité.

Les graines de ricin se conservent convenablement si leur humidité est inférieure à 6 %.

Les produits qui résultent du processus de transformation des graines de ricin sont l'huile de première pression (utilisée en pharmacopée), l'huile de deuxième pression, l'huile sulfurée et les tourteaux.

Il existe deux procédés d'extraction : l'extraction par presse hydraulique (rendement de 30 % d'huile par rapport au poids total des graines + résidus de l'albumen, en plusieurs opérations) et l'extraction par presse continue (rendement de 42 % d'huile en une seule opération).

Les tourteaux issus de l'extraction par presse hydraulique ou par presse continue contiennent encore de l'huile (de 5 à 8 % de leur poids). L'utilisation de sulfure de carbone (ou un autre solvant) permet d'extraire le restant d'huile. L'huile ainsi obtenue est très acide, très colorée et dégage une odeur tenace et désagréable.

● La production actuelle et les perspectives

La demande européenne d'huile de ricin est de l'ordre de 100 000 t par an. Du fait d'une demande limitée, la production est régie par des contrats entre agriculteurs et industriels.

Les Etats-Unis sont le premier pays importateur et consommateur d'huile de ricin. Ils importent entre 40 000 et 45 000 t d'huile de ricin et de ses dérivés chaque année. Cette huile est principalement utilisée comme lubrifiant pour les armes.

LE VÉTIVER

Vetiveria zizanioides - Syn. : *Andropogon muricatus*

Anglais : vetiver grass

Espagnol : espicanardo

Portugais : vetiver

Famille des Poaceae

L'essence de vétiver est obtenue par distillation à la vapeur des racines de cette plante. Les dérivés de l'essence de vétiver (dont le vétiverol) ne sont utilisés qu'en parfumerie.

Le vétiver est une graminée originaire d'Inde où on la trouve à l'état sauvage. Elle est cultivée partout dans les zones tropicales et subtropicales. Elle est utilisée pour la production d'essence mais également comme barrière contre l'érosion. Les principaux producteurs d'essence sont Haïti et l'Indonésie (Java). C'est une graminée pérenne à gros rhizomes ; les chaumes sont cespiteux, glabres, luisants, assez fermes, formant des touffes denses pouvant atteindre 2 m de haut.

Le vétiver résiste bien au froid et même au gel. L'optimum de croissance a lieu à une température comprise entre 25 et 35°C. Il supporte des périodes de sécheresse et s'adapte à une pluviométrie allant de 300 à 3 000 mm annuels. Il se multiplie par éclats de souche, les feuilles étant coupées à 15-20 cm de long. Pour la production d'essence, les écartements au champ sont de 50 à 60 cm entre lignes et 20 à 30 cm sur la ligne.

La récolte a lieu 15 à 18 mois après la plantation ; l'arrachage est facilité par l'humidification du sol. Les racines sont nettoyées à l'eau et séchées au champ pendant quelques jours, puis séchées à l'ombre. Le rendement moyen est de 1,5 à 2 t/ha de racines séchées à l'air (soit environ 20 kg d'essence). Avant d'être distillés, les fragments de racines trempent dans l'eau dix à vingt heures. Au cours de la distillation on recueille différentes fractions. La qualité de l'essence s'améliore lors de son stockage.

L'YLANG-YLANG

Cananga odorata (Lamk) Hook.f. & Thomson

Anglais : ylang-ylang

Espagnol : ylang-ylang

Portugais : ylang-ylang

Famille des Annonaceae

Cananga odorata est cultivé pour ses fleurs au parfum très fort. Leur usage principal est la distillation qui permet d'extraire une huile essentielle destinée à la parfumerie.

Il en existe deux variétés :

> *C. odorata* var. *genuina* (ylang ylang)

> *C. odorata* var. *macrophylla* (cananga)

La première produit une huile utilisée dans des parfums de premier choix, la seconde est davantage utilisée pour la fabrication de savons et produits de toilette pour hommes. Cet arbre, originaire des Moluques, a été introduit sur tous les continents. Les principaux producteurs d'huile d'ylang-ylang sont l'Indonésie, les Comores et Madagascar (*Nosy-Bé*).

L'arbre peut atteindre 10 à 15 m de haut mais il est taillé à 3 m en conditions d'exploitation. Il demande une température annuelle moyenne de 21 à 27°C ; la pluviométrie annuelle optimale est de 1 500 à 2 000 mm. Il préfère les sols profonds, bien drainés, et craint le vent. On le trouve cultivé à plus de 1 000 m. On peut le semer soit directement soit en pépinière. Le taux de germination est meilleur avec des graines âgées de six à douze mois, traitées à l'eau bouillante. Les plants élevés en pépinière sont repiqués lorsqu'ils atteignent 30 à 40 cm de haut. Les distances de plantation sont de 6 m x 6 m. Les arbres sont écimés à 2 m au bout de deux à trois ans afin de favoriser la formation de branches basses retombantes, permettant une cueillette aisée des fleurs.

La première floraison importante intervient au bout de quatre à cinq ans dans les conditions optimales de culture. La durée de production d'un arbre est de 50 ans, mais celle-ci n'est intéressante que pendant 20 ans. Un arbre de *C. odorata* var. *macrophylla* peut produire 30 à 100 kg de fleurs/an ; la variété *genuina* produit au maximum 20 kg/arbre/an (avec écimage).

L'extraction de l'huile s'effectue par distillation à la vapeur d'eau dans des alambics de cuivre étamé. Pour *C. odorata genuina*, on utilise des solvants volatils permettant la production de concrètes et on recueille, en fonction du stade de la distillation, différentes qualités d'huiles : l'huile *extra* sort la première, puis la *première*, la *deuxième* et la *troisième*.

La qualité des huiles essentielles

La qualité tient :

- au respect de standards de production pour la culture et l'extraction de l'essence ;
- aux caractéristiques agro-climatiques du lieu de production : les conditions écologiques jouent un rôle certain dans la qualité des huiles. Cela explique la valorisation de certaines origines (comme pour le vin) : le géranium et le vétiver Bourbon de la Réunion en sont deux exemples.

Les standards de qualité pour les huiles essentielles sont définis à l'échelle internationale, comme pour les autres produits, par l'Organisation internationale de standardisation (Iso), localisée à Genève. En raison du coût très élevé de certaines huiles essentielles, en particulier celles qui sont utilisées pour la parfumerie de luxe, des produits altérés ou des substituts sont parfois mis en vente. Les pratiques frauduleuses sont :

- l'addition de substances provenant d'autres huiles essentielles ;
- l'addition du composé à l'origine de l'odeur recherchée (renforcement de l'odeur) ;
- la reconstitution à partir de composés naturels ou synthétiques ;
- la dilution du produit (augmentation du volume et diminution de la qualité) : cette pratique est autorisée si elle est déclarée.

Bibliographie générale sur les huiles essentielles

- ANONIS D.P., 1993, *Flower oils and floral compounds in perfumery* (USA) : Allured Publishing Corporation, 257 p.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL, 1989, *Mémento du forestier*, Paris, Ministère de la Coopération, 1266 p.
- CCI, 1986, *Huiles essentielles et oléorésines*, Genève, CNUCED-GATT 236 p.
- DEMARNE F.; BLANCHARD J.P., 1996, *La filière des plantes aromatiques et à parfums à Haïti*, s.l. : APROMA, 61 p.
- Growth performance and production potential of some aromatic grasses in Sarawak- a preliminary assessment* in Tropical Science (GBR), 1972. - vol. 14, n. 1, p. 47-58 : 22 réf.
- OYEN L.P.A.; XUAN DUNG N., 1999, *Plant Resources of South-East Asia (PROSEA)*, Leiden, Backhuys Publishers, *Volume Essential - oil plants*, 279 pp., PROSEA Foundation
- PECOUT W., 1972, *Les huiles essentielles des Comores* in Parfums, cosmétiques, savons de France (FRA) 1972. - vol. 2, n. 11, p. 468-476
- THOREZ J.P., 1979, *Végétaux anti-érosion en milieu tropical*, Fiches techniques du GRET, Paris (FRA) : GRET, N° T355, 4 p.
- WIRTH F., 1978, *Culture de plantes à parfum en Tunisie - Guide pratique*, GTZ, Eschborn, 189 p.

Bibliographie sur des espèces spécifiques

L'eucalyptus citriodora

- MWANGI J.W.; GUANTAI A.N.; MURIUKI G., 1985, *Eucalyptus citriodora - essential oil content and chemical varieties in Kenya* in East African Agricultural and Forestry Journal (KEN), 1985. - vol. 46, n. 1-4, p. 89-96.
- PANDA R.; PANDA H., 1987 *Studies on Eucalyptus oil in Indian Forester*(IND), 1987. - vol. 113, n. 6, p. 434-440.

L'eucalyptus globulus

- DAYAL, R., AYYAR, K.S., *Analysis of medicinal oil from Eucalyptus globulus. ssp. bicostata Leaves in Planta* (DEU), 1986. - n. 9, p. 1-2.

Le géranium

- DEMARNE F.E., *L'amélioration variétale du géranium rosat (Pelargonium sp.) Contribution systématique, caryologique et biochimique*, Orsay (FRA) : Université de Paris-Sud, 1989. - 250 p.180.
- DEMARNE F.E., *Influence du mode de récolte sur la distillation du géranium rosat*, Agronomie tropicale (FRA) 1992. 1992 - vol. 46, n. 2, p. 161-165.
- DUCREUX A., *La récolteuse de géranium. Un outil indispensable pour la modernisation de la culture*, Montpellier (FRA) : CIRAD-SAR, 1993. - 4 p.
- MICHELLON R.; SEGUY L.; PERRET S., *Géranium rosat : conception de systèmes durables avec couverture herbacée (Géranium rosat sur lotier et kikuyu : une innovation durable à la Réunion)*, Journées Internationales huiles essentielles. 15; 1996/09/05-07; Digne-les-Bains (FRA), Montpellier (FRA) : CIRAD-CA, 1996. - 14 p. In : APPAM. - Journées internationales huiles essentielles.
- MICHELLON R.; RAKOTONDRALAMBO P.; RANDRIANANGALY S., *Le geranium rosat. Fiches techniques*. Projet d'appui à la filière huiles essentielles SYPEAM. PS 07/97. Ims 02, Antananarivo (MDG) : CIRAD-CA, 1998. - 96 p.

Le jojoba

- AVRIL BAXTER, 1999 - *Jojoba in Western Australia*. Agriculture western Australia, Natural Resources Management Service Unit - (sites sur le web)
- MARTIN, G - *Réflexion sur les cultures oléagineuses énergétiques. 1.- Le Jojoba, un lubrifiant d'avenir*. Oléagineux, vol. 38, 6, 1983, pp 387-392.

Le vétiver

- MAROUZE C., 1988, *Machine de récolte de vétiver : étude, construction et mise au point d'une machine de soulevage et de secouage des racines de vétiver*, octobre 1986-décembre 1987, Antony (FRA): CIRAD-CEEMAT, 1988. - 11 p.

L'ylang-ylang

- ANON, *Bibliographie sur la citronnelle (Cymbopogon nardus, Cymbopogon winterianus)*, Nogent-sur-Marne (FRA) : CIRAD-IRAT, 1989. - 24 p. : 1 ill., 136 réf.
- DEMARNE F.E.; *La qualité des huiles essentielles d'ylang-ylang produites à Mayotte*, Saint-Denis (REU): CIRAD, 1996. - 26 p.

Les plantes tannifères et tinctoriales

À partir d'une contribution de C. Hekimian Lethève

- > *Acacia decurrens*
- > Le henné
- > Le palétuvier
- > Le bois de santal
- > L'indigotier
- > Le rocouyer
- > Le campêche

ACACIA DECURRENS

Acacia decurrens var. dealbata

Français : acacia blanc

Anglais : silver wattle

Espagnol : mimosa

Portugais : acácia da Australia

Acacia decurrens var. mollis ou acacia mearnsii

Français : acacia noir

Anglais : black wattle

Espagnol : acacia negra

Portugais : acacia negra

Famille des Mimosaceae

● La plante et ses utilisations

Originaire d'Australie, il est cultivé en Afrique australe et de l'Est, en Inde, dans le Sahel et dans les savanes humides. Son écorce sert à la production de tannin pour les cuirs. Son bois dur et lourd est utilisé comme bois d'œuvre et de construction ou dans l'industrie papetière. Avec les gousses ou la gomme, on fabrique des teintures noires, rouges ou jaunes et de l'encre.

C'est un arbre de 6 à 20 m de hauteur, de 10 à 60 cm de diamètre, en forme en couronne. Son écorce, en morceaux courbes gris-brun, noircit avec l'âge. Il possède des épines axillaires disposées par paires, droites, très fines, grises et pouvant atteindre 10 cm. Les feuilles bipennées comprennent trois à six paires de pinnules, avec chacune dix à trente paires de folioles de 4 à 5 mm de long. Les fleurs forment, au bout des rameaux, des boules jaunes avec des tiges de 2 à 3 cm. La reproduction s'effectue par graines, viables durant de nombreuses années.

Il pousse sur des sols de préférence argileux et supporte une inondation périodique : c'est un arbre de bas-fonds et de bords de rivière ou de mares.

Il tolère des précipitations annuelles comprises entre 250 et 1000 mm et supporte des températures diurnes de plus de 50°C, mais pas le gel.

● La culture

Pour faciliter la germination, les graines sont recouvertes d'eau bouillante. Ceci permet de fissurer leur enveloppe. Elles peuvent être semées en pépinière et les plants sont alors repiqués après trois à six mois. Les arbustes sont alors espacés de 2 m. Des cultures intercalaires peuvent être plantées la première année. Les arbres produisent une écorce exploitable cinq à dix ans après le semis.

Les tannins sont extraits des gousses vertes et de l'écorce. L'écorce est déroulée à partir du bas de l'arbre, ensuite l'arbre est coupé. Le tronc et l'écorce sont coupés en morceaux d'un mètre de long. L'efficacité du tannin augmente lorsque l'écorce est bien conservée. Un arbre de sept ans produit environ 3 à 5 kg d'écorce séchée.

Les plantations d'Afrique du Sud, du Zimbabwe, de Tanzanie, du Kenya et du Brésil fournissent 38 % de la demande mondiale de tannin. L'Afrique du Sud est le plus grand producteur.

LE BOIS DE SANTAL

Pterocarpus santalinus

Français : bois de santal, sandal rouge

Anglais : red sanders ou saunders

Famille des Fabaceae

Originaire de Madras et de Ceylan, le bois de santal est cultivé en Inde, au Pakistan, et à Sri Lanka pour le colorant rouge extrait du bois et utilisé pour teindre les vêtements. C'est un arbre de petite taille (6 à 7 m de hauteur). Le diamètre du tronc est de 15 cm vers dix-huit ans et de 1 m à soixante-dix ans. Les racines et la partie souterraine des tiges possèdent des suçoirs qui permettent à la plante de parasiter les racines des autres arbres. Les branches sont opposées et retombantes, les feuilles sont opposées et les fleurs jaunes sont disposées en grappes. Le fruit est une gousse comprimée ovale. Le tronc est couvert d'une écorce lisse ou rugueuse. Les arbres qui possèdent une écorce lisse ont un cœur peu coloré et une sève non colorée en rouge. Ceux qui possèdent une écorce rugueuse ont un cœur noir, et possèdent une sève de couleur rouge. Le cœur du bois peut être rouge, jaune marron, pourpre marron à jaune. La formation du pigment a lieu entre quinze et cinquante ans. Ce pigment est insoluble dans l'eau et soluble dans l'éther et l'alcool.

Le santal ne se développe pas dans les forêts denses et doit être cultivé sous abri. La propagation s'effectue par graines. Le bois de santal est cultivé dans des zones tempérées et tropicales sur des sols siliceux drainés, sur des versants de collines élevées (de 200 à 700 m).

L'arbre est coupé et laissé sur place de façon à ce que son écorce (sans valeur) soit consommée par les insectes. Il est exporté sous forme de billots ou de bûches, de couleur rouge ou marron à l'extérieur et rouge sang à l'intérieur. Le bois est utilisé en poudre et sert de colorant pour les textiles et d'autres bois.

LE CAMPÊCHE

Heamatoxylon campechianum ou *Erytroxylum campechianum*

Anglais : logwood

Espagnol : palo de campeche, palo de tinte

Portugais : campeche

Famille des *Fabaceae*

Originaire d'Amérique centrale et de l'ouest de l'Inde, il est exploité en Chine, en Haïti, en Inde, au Mexique, en Turquie, au Venezuela, au Honduras et en Jamaïque. Un colorant noir est obtenu à partir du cœur de l'arbre. Il est également utilisé comme astringent. Son principe actif est l'hématine.

C'est un arbre des régions sèches, de 9 à 15 m de hauteur avec un tronc court craquelé. L'écorce est de couleur marron-rouge. Les feuilles alternes mesurent 2 à 3 cm et sont d'un vert sombre. Les fleurs sont petites, en grappes jaunes, terminales ou axillaires. Le fruit est une gousse membraneuse vert clair.

Le bois est lourd et extrêmement dur, dense et solide. L'arbre peut être abattu dès qu'il atteint l'âge de huit ans. Il est privé de son écorce et de son aubier et est vendu sous forme de blocs ou de billots. Les morceaux sont brun-gris extérieurement, et rouge foncé à l'intérieur. Lorsqu'il est râpé, le bois à une odeur de violette et une saveur douce astringente.

LE HENNÉ

Lawsonia alba ou *Lawsonia inermis*

Anglais : henna plant

Espagnol : Alheña, alcana

Portugais : Alfeneiro

Famille des *Lythraceae*

Plante originaire d'Afrique du Nord, d'Asie tropicale et d'Australie, le henné est cultivé en Égypte, en Inde, au Kurdistan, en Perse et en Syrie. Les parties de la plante utilisées sont les fleurs, les feuilles (en poudre) et les fruits. La poudre de feuilles est utilisée en cosmétique pour teindre la peau (tatouage non-permanent) et les cheveux (donne des reflets roux aux cheveux bruns). C'est une teinture de couleur rouge jaune. Le henné est également utilisé localement contre les affections de la peau et comme substance antihémorragique et astringente.

C'est un arbuste de 2 à 3 m en général, pouvant atteindre 6 m, à petites fleurs blanches, roses ou rouges parfumées. Le fruit est une capsule polysperme. La pollinisation est entomophile et s'effectue par l'intervention d'hyménoptères, de diptères et de lépidoptères. L'arbuste se développe à des températures moyennes annuelles comprises entre 19 et 27°C et des précipitations annuelles comprises entre 200 mm et 4200 mm. Le sol peut avoir un pH variant de 4,3 à 8.

L'INDIGOTIER

Indigofera tinctoria, *I. arrecta*, *I. suffruticosa*

Anglais : true indigo plant

Espagnol : indigo, añil

Famille des Mimosaceae

● La plante et ses utilisations

Plusieurs espèces (dont *I. tinctoria*) sont originaires d'Asie. L'indigotier est cultivé en Inde et dans de nombreuses régions subtropicales, aussi bien en Asie qu'en Afrique ou en Amérique.

L'obtention du colorant naturel indigo (bleu) constituait autrefois l'usage principal de la plante. Elle est également utilisée comme plante médicinale pour lutter contre l'épilepsie et les troubles nerveux, comme plante de couverture dans les cultures de thé, café et d'arbre à gomme et comme fourrage ou engrais vert.

C'est une plante herbacée ou arbustive, ligneuse à la base, pérenne, épineuse, à feuilles composées alternes. Les fleurs sont hermaphrodites et la pollinisation entomophile. La hauteur varie suivant les espèces : 1 m pour *I. tinctoria*, 2,5 m pour *I. suffruticosa* et 3 m pour *I. arrecta* qui constitue un large arbuste, cultivé comme une plante annuelle.

L'indigotier se développe dans des zones plutôt escarpées et ensoleillées avec des températures optimales de 16 à 27°C. Il préfère des sols perméables, riches en matières organiques, avec un pH compris entre 5 et 7,3. L'indigotier se développe du niveau de la mer à 1 600 m d'altitude sous un climat humide avec des précipitations annuelles supérieures à 1 750 mm. *I. tinctoria* ne tolère pas les grosses pluies et les sols détrempés mais les autres espèces supportent deux mois d'inondation. Ce sont donc des arbustes plutôt résistants, sauf dans les climats trop humides (attaques de champignons et d'insectes).

● La culture

La propagation de l'indigotier s'effectue par les graines sauf pour *I. suffruticosa* qui se propage préférentiellement par bouturage. Les graines d'*I. arrecta* doivent être scarifiées. Le semis peut se faire dans une pépinière ou directement en plein champ : trois à quatre graines par trou, 60 cm entre les trous et 45 à 60 cm entre les rangs. La germination dure quatre jours. Si on utilise une pépinière, les plants doivent être transplantés après quatre semaines. On réalise un désherbage et un buttage un mois après la plantation, puis encore un mois après.

Les branches sont récoltées tôt le matin, dès que la plante a quatre à cinq mois. Quand la plante est bien fournie, trois à quatre mois après la première récolte, une seconde récolte est réalisée. La plante peut ainsi être récoltée trois fois par an. En général, la durée de vie de l'arbuste est de deux à trois ans en plein champ et d'un à deux ans en plante de couverture.

Les rendements sont très variables selon les espèces : 10 à 13 t par an pour *I. tinctoria*, 22 à 100 t par an pour *I. arrecta*, principale espèce fournisseuse d'indigo.

L'indigo est produit par la fermentation des feuilles mélangées à de la soude caustique ou de l'hydrosulfate de sodium.

La période allant du XVI^e siècle à la fin du XIX^e siècle a été l'âge d'or de l'indigo. L'utilisation d'indigo synthétique dans l'industrie a remis en cause l'intérêt de la culture au XX^e siècle. On assiste cependant actuellement à un renouveau de la production, en raison du regain d'intérêt pour les teintures naturelles.

LE PALÉTUVIER

Rhizophora mucronata Poiret

Anglais : red mangrove, mangrove cutch

Famille des *Rhizophoraceae*

Cultivé sur le littoral de l'Afrique de l'Est et à Madagascar, ce palétuvier produit un bois utilisé en ébénisterie, comme bois d'œuvre (mobilier, piliers, poteaux, construction navale) et pour la production de tannin pour tanner le cuir et durcir les lignes, les cordes et les filets des pêcheurs. Le tannin de *Rhizophora mucronata* est associé à une substance qui noircit graduellement. C'est un colorant marron foncé à noir. L'écorce produit un adhésif qui entre dans la fabrication du contreplaqué et de panneaux à particules.

C'est un arbre haut de 5 à 30 m, à feuilles opposées persistantes, au tronc de 50 à 70 cm de diamètre. La racine pivotante avorte généralement et laisse place à des racines latérales nombreuses qui se développent en cerceau à la base du tronc (racines échasses). Des racines aériennes sont parfois produites par les branches. L'écorce est grise ou marron gris, lisse et mince. L'arbre tolère de nombreuses maladies, les insectes, le sel et l'excès d'eau. Une graine se développe par fruit et commence à germer quand le fruit est encore attaché à l'arbre. Ensuite la plantule sort du fruit et tombe dans la boue où elle se fixe et croît. Les plantules gardent leur vitalité plusieurs mois.

Le palétuvier se développe dans des criques, estuaires et côtes où la marée est importante et quotidienne, sur les boues saumâtres et salines des rivages. Il apprécie de fortes précipitations annuelles (de 1400 à 2300 mm d'eau), des températures moyennes annuelles comprises entre 21 et 25°C et des sols aux pH de 6 à 8,5. Il préfère les sols boueux, profonds et riches en humus avec une salinité appropriée.

Il est utilisé en plantation pour stabiliser les bancs des enclos d'aquaculture. C'est un arbre à croissance lente qui met trente-cinq à quarante ans pour atteindre 20 cm de diamètre. Il est possible de le multiplier végétativement par croissance horizontale des branches les plus basses. Les jeunes plantules sont utilisables pour une plantation.

Pour la production de tannin, l'écorce est récoltée sur les arbres vivants. Pour le charbon, le mobilier et le bois de feu, on utilise les arbres à peine tombés. L'écorce récoltée sur le tronc doit être maintenue humide. La teneur en tanin varie de 8 à 40 % dans l'écorce séchée. *R. mucronata* est l'espèce la plus rentable dans la production de tannin. L'écorçage tue l'arbre et la production d'écorce est souvent combinée avec celle de bois de chauffage ou de charbon. Une collecte trop intense provoque des risques de destruction de la mangrove.

LE ROCOUYER

Bixa orellana

Français : rocouyer, roucouyer

Anglais : annato tree, lipstick tree

Espagnol : achiote, anato, achote, bija

Portugais : annatto, ruka, uruku, uruka

Famille des Bixaceae

● **La plante et ses utilisations**

Originaire du Brésil le rocouyer est cultivé en Amérique centrale et en Amérique du Sud, dans les Caraïbes et au Mexique. Le rocou est le nom donné au colorant rouge tiré de la plante. Les graines contiennent de la bixine, de couleur jaune or. Elle est utilisée comme teinture végétale pour les aliments (margarine, fromages, riz, huile, beurre, glaces) et savons, dans la composition de vernis, peintures et laques et dans l'industrie cosmétique. Les fibres extraites de l'écorce servent à faire des cordages. La gomme extraite de l'écorce a les mêmes propriétés que la gomme arabique.

C'est un petit arbre à feuilles persistantes, de 5 à 10 m de hauteur avec un tronc de 10 cm de diamètre à l'écorce dure et lisse. Les feuilles sont pétiolées et échancrées en cœur. L'arbuste fleurit dix-huit mois après sa plantation. Il porte deux fois par an des touffes de fleurs roses pâles. La pollinisation est entomophile. Les fleurs donnent des fruits en forme de gousses oblongues aplaties sur les côtés. Les fruits mûrissent en cinquante à soixante jours et donnent une soixantaine de graines. Elles sont couvertes d'une matière humide adhérente, rouge et à forte odeur, c'est le rocou.

Le rocouyer croît souvent à proximité des ruisseaux. Cette espèce se développe dans des zones sans gel, au climat chaud, humide et ensoleillé. Elle peut pousser dans une grande variété de climats tropicaux et subtropicaux à condition de disposer de pluies régulières. Elle a besoin de peu d'entretien et est adaptée à tous les types de sols, de préférence neutres ou légèrement basiques. Elle atteint une grande taille dans des sols fertiles, riches en matière organique, produit bien en sols calcaires et peut être plantée jusqu'à 2 000 m d'altitude.

● **La culture et l'extraction**

Les graines mûres issues des fruits frais germent rapidement, en sept ou dix jours dans des conditions humides. Elles ont une viabilité élevée la première année, mais celle-ci chute rapidement ensuite. La propagation se fait par graines ou par bouturage.

Les graines sont plantées en plein champ, en poquets de deux à cinq graines, au début de la saison des pluies. Après germination, seul un plant est conservé par poquet. Les graines peuvent aussi être élevées en pépinière pendant trois à quatre mois avant transplantation.

La propagation végétative à partir des racines permet une transplantation après trois mois. Elle est facile et permet de sélectionner les plants ayant la meilleure production et la teneur en bixine la plus élevée. Pour des productions commerciales, les arbres peuvent être plantés en lignes, à 3 à 4 m de distance les uns des autres.

Les plants issus de graines fleurissent plus lentement et produisent moins, ils sont plus petits et présentent une grande variabilité. La production après quatre ans peut dépasser 2 t/ha avec de 0,9 % à 6,9 % de bixine dans la graine. Un arbre moyen produit 250 à 300 kg de graines. Les fruits de forme longue semblent avoir un taux de bixine plus important que ceux de forme ovoïde. La capsule peut être récoltée dès qu'elle commence à être marron et avant qu'elle ne se fende.

Un kilo de graine donne 20 à 50 g de colorant. La teinture est extraite par trempage des graines dans de l'eau et pressage, ce qui produit une solution trouble cristallisable par chauffage-refroidissement ou par fermentation. Le colorant concentré au fond du récipient peut être séparé et séché sous forme de pâte. Un autre type d'extraction consiste à bouillir les graines dans une solution de carbohydrate de sodium, filtrer et acidifier le filtrat. Puis le colorant est coagulé par ébullition avec du sel, pressé, filtré, lavé et séché.

● **La production dans le monde**

Le rocou a été remplacé dans l'industrie textile par des colorants synthétiques car il ne colore pas rapidement. Par contre, il est à nouveau utilisé dans l'industrie agro-alimentaire en raison de la présence de bêta-carotène. La bixine est un colorant meilleur marché que le safran. La production mondiale a été de 3 000 t de graines en 1983 et de 10 000 t en 1998, dont la moitié est produite au Brésil. Le principal importateur de rocou est l'Amérique du Nord. Près de 70 % est utilisé dans l'industrie des fromages.

5 4

Glossaire



Ce glossaire donne la définition des termes botaniques et phytotechniques utilisés dans les fiches des différentes espèces. La plupart des définitions sont extraites du «*Glossaire de botanique*, BILLY. C., LECHEVALLIER, Paris, 1991» et du «*Dictionnaire d'agriculture*, CILF-PUF, Paris, 1999».

Acuminé : terminé en une longue pointe.

Adventif : qualifie un organe qui n'est pas à l'endroit où on le voit d'ordinaire.
Exemple : racine adventive sur une tige.

Albumen : tissu de réserve contenu dans la graine.

Allogame (ou **xenogame**) : à fécondation croisée entre individus différents.

Alternance : particularité physiologique de certaines espèces pérennes qui produisent alternativement des récoltes faibles et élevées.

Anémogame ou **anémophile** : fertilisé par le vent qui transporte le pollen.

Anoxie : privation d'oxygène.

Anthère : partie de l'étamine qui renferme les grains de pollen.

Anthocyane : pigments bleu violet ou rouges.

Aoûté : se dit d'un rameau de l'année qui, à la fin de sa croissance, a pris une structure ligneuse et accumulé des réserves.

Apomixie : reproduction sans fécondation ni méiose.

Arille : bourrelet qui se forme autour de la graine et apparaît comme une enveloppe colorée.

Aristé : pourvu d'une barbe.

Aubier : bois périphérique vivant où circule la sève brute provenant des racines.

Autogamie : fécondation directe de l'ovule par le pollen de la fleur dont il fait partie.

Axillaire : fixé dans une aisselle sur une tige. Exemple : bourgeon axillaire à l'aisselle d'une feuille.

Bipenné : à folioles divisées en foliolules.

Bractée : rudiment de feuille à la base d'une fleur ou d'une inflorescence.

Cal : tissu superficiel développé en réponse à une blessure ou tissu indifférencié formé dans les cultures de tissus *in vitro*.

Capsule : fruit sec déhiscent, formé par plusieurs carpelles soudés.

Carpelle : élément femelle de la fleur, comprenant l'ovaire, le style et le stigmate.

Carpophore : colonne centrale du gynécée ou pistil.

Caryopse : fruit à une seule graine formé par la soudure de la graine et de la paroi de l'ovaire.

Cespiteux : en touffe serrée.

Cléistogamie : autogamie dans une fleur qui ne s'ouvre pas.

Concrète : produit solide ou semi-solide ou essence extrait des plantes à parfum à la suite d'un traitement par des solvants suivi d'une décantation et d'une concentration de l'essence.

Croissance déterminée : se dit de la croissance d'une plante qui se termine à la fin de la floraison.

Croissance indéterminée : se dit de la croissance d'une plante qui continue à allonger sa tige et produire des feuilles après le début de la floraison.

Corne : tige souterraine stockant des réserves et entourée de fines écailles.

Cyme : inflorescence de type sympodial.

Décombant : qui se dresse avant de retomber vers le sol.

Défini : s'applique à une inflorescence dont la partie terminale est formée par une fleur.

Déhiscent : qui s'ouvre de soi-même, sans intervention extérieure.

Dioïque : qui possède des pieds mâles et des pieds femelles.

Dormance : état de latence ou de vie ralentie.

Drupe : fruit charnu.

Entomogame ou **entomophile** : pollinisé par les insectes.

Epiderme : assise cellulaire externe d'un organe.

Epillet : petit épi contribuant à la formation d'un épi composé ou d'une panicule.

Fasciculé (système racinaire) : à racines nombreuses et peu profondes.

Foliole : élément d'une feuille composée.

Franc : plant généralement issu de semis, destiné à servir de porte-greffe à un arbre de la même espèce.

Glabre : sans poil.

Glume et **glumelle** : écailles protégeant épillets et fleurs de graminées.

Hermaphrodite : qui possède des organes mâles et femelles dans la même fleur.

Hydroponique : se dit d'une culture de plante hors du sol, dans un milieu de culture inerte et nutritif.

Hypocotyle : partie de la tige située sous les cotylédons.

Incompatibilité : impossibilité de réaliser une fécondation croisée.

Indéfini : qualifie une inflorescence dont l'axe est terminé par un bourgeon et non une fleur.

Introgression : incorporation de gènes par hybridation suivie de rétro-croisements répétés.

Involucre : ensemble de bractées qui entourent une ombelle.

Lancéolé : en forme de fer de lance.

Méristème : groupe de cellules non différenciées dont les divisions permettent la croissance et la formation d'organes.

Mésocarpe : couche moyenne du péricarpe d'un fruit.

Mésocotyle : entre-noeud séparant le coléoptile et le scutellum dans un embryon de graminée.

- Monoécie** : coexistence de fleurs femelles et de fleurs mâles sur une même plante, mais non dans une même fleur.
- Monoembryonné** : qui contient un embryon unique.
- Monopodial** : où les bourgeons des rameaux latéraux ne se substituent pas au bourgeon de l'axe directeur.
- Montaison** : phase de croissance qui correspond à l'allongement des tiges et à la montée de l'épi à l'intérieur de la gaine.
- Multicaulie** : mode de conduite favorisant le développement de plusieurs tiges.
- Multifide** : divisé en nombreuses lanières fines.
- Noeud** : zone renflée au niveau d'insertion d'une tige et d'une feuille.
- Nouer** : passer de l'état de fleur à l'état de fruit.
- Nouaison** : transformation de l'ovaire de la fleur en fruit.
- Nucelle** : tissu de l'ovaire dans lequel se développe le sac embryonnaire.
- Nucule** : fruit indéhiscent dont la paroi est sclérifiée.
- Ombelle** : inflorescence à forme globuleuse dans laquelle les pédoncules sont fixés en un même point sur la tige.
- Orthotrope** : droit et prolongeant l'axe qui le porte.
- Ovaire** : base renflée d'un carpelle qui renferme les ovules.
- Panicule** : inflorescence de forme dérivée de l'épi, à épillets pédonculés.
- Parenchyme** : tissu de remplissage, constituant souvent un tissu de réserve.
- Parthénocarpie** : formation du fruit sans fécondation de l'ovule, aboutissant à l'absence de graine.
- Pédicelle** : petit pédoncule, support d'une fleur ou des cellules sécrétrices d'un poil.
- Péricarpe** : dans un fruit, ancienne paroi de l'ovaire qui entoure la graine.
- Phyllotaxie** : disposition des feuilles sur la tige.
- Pinnule** : ramification d'une feuille.
- Plagiotrope** : se dit d'une tige dont la direction est oblique.
- Polyembryonné** : qui contient plusieurs embryons.
- Polymorphisme** : faculté de se présenter sous différentes formes.
- Procombant** : qui repose sur le sol, mais sans s'y enraciner ; prostré.
- Protandrie** : maturation des organes mâles avant celle des organes femelles.
- Pubescent** : recouvert d'un tissu fin et serré.
- Racème** : inflorescence en forme de grappe simple sur un axe principal.
- Rachis** : partie axiale, axe de soutien.
- Rouissage** : traitement des fibres végétales par trempage dans l'eau.
- Sclérenchyme** : tissu de soutien constitué de cellules mortes lignifiées.
- Sciaphile** : qui apprécie l'ombre.
- Sessile** : qui ne possède pas de pédoncule ou de pétiole.
- Stipe** : tige dressée et sans ramification.

Stolonifère : qui produit de longues tiges à croissance horizontale s'enracinant au niveau des noeuds.

Style : prolongement en hauteur du carpelle, sous le stigmate.

Sympodial : où les bourgeons des rameaux latéraux se substituent au bourgeon terminal de l'axe principal.

Talle : chez les *Poaceae* et *Cyperaceae*, tige adventive produite à l'aisselle d'une feuille, à la base de la tige principale appelée maître-brin.

Température létale : température entraînant la mort.

Trifolié : à trois folioles.

Turion : jeune pousse qui naît d'une tige souterraine.

Vernalisation : acquisition de la faculté de germer par l'exposition à de basses températures.

Verticille : disposition de plusieurs organes en cercle autour d'un axe ou d'un point central.

Xénogame : voir allogame.

Zéro végétatif : température à partir de laquelle la croissance peut avoir lieu.

Zygotique (embryon) : embryon résultant de l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle.

A grayscale photograph of a person riding a horse in a dry, open landscape. The person is wearing a light-colored shirt and dark pants, and is riding a dark-colored horse. The background shows sparse trees and a clear sky. The text is overlaid on the left side of the image.

6 L'ÉLEVAGE

6.1 Le diagnostic des systèmes d'élevage

6.2 Le diagnostic des systèmes d'alimentation

6.3 Les produits animaux

6.4 L'élevage et l'environnement

6.5 La gestion des animaux et des troupeaux

6.6 La santé animale

Le diagnostic des systèmes d'élevage

À partir des contributions V. Alary (CIRAD) et de P. Lhoste (CIRAD)¹

LA DIVERSITÉ DES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Les dynamiques d'évolution de l'élevage en régions chaudes amènent à observer une grande diversité de systèmes d'élevage. Comme en agriculture, ces transformations sont dues notamment à la croissance démographique rapide et à l'urbanisation qui ont entraîné une évolution importante de la demande en produits alimentaires. Les perspectives économiques prévoient un fort accroissement de la demande en produits animaux dans les pays en développement, avec une forte tendance à produire de plus en plus dans les pays (ou les régions) consommateurs. Ces changements induisent souvent une intensification de l'élevage et de l'agriculture, et parfois une meilleure intégration de ces activités. Dans d'autres cas, c'est la spécialisation des élevages qui apporte des réponses à ces enjeux.

Intensification et spécialisation marquent donc fortement le paysage des productions animales, notamment pour les espèces à cycles courts (aviculture, aquaculture, élevage de porcs...), pour certains systèmes de production péri-urbains (lait, embouche...) et pour certaines formes d'intégration de l'agriculture et de l'élevage. Les systèmes pastoraux plus extensifs fondés sur la valorisation des parcours par des herbivores gardent néanmoins leur place, en raison non seulement des valeurs sociales et culturelles qui leur sont attachées, mais aussi de leur aptitude à valoriser des ressources renouvelables de faible potentialité (parcours des zones arides et semi-arides par exemple)².

¹ Coordination de la rédaction de ce chapitre : Philippe Lhoste.

² Cf. chapitre 234.

● **Les critères de différenciation des systèmes d'élevage**

Pour différencier les systèmes d'élevage, divers critères sont utilisés seuls ou combinés. Les plus classiquement utilisés³ sont les suivants :

- > *la mobilité des animaux dans l'espace*, qui permet de distinguer des systèmes d'élevage sédentaires, transhumants ou nomades. Cet aspect, souvent privilégié par les géographes en Afrique notamment, est discriminant dans certaines situations (au Sahel, par exemple) ;
- > *des critères techniques*, parmi lesquels l'intégration à l'agriculture a souvent été privilégiée ce qui a conduit à distinguer des systèmes pastoraux, agro-pastoraux et agricoles ;
- > *des critères d'intensification*, séparant des systèmes intensifs, semi-intensifs, semi-extensifs ou extensifs ; les limites d'un tel classement apparaissent cependant rapidement⁴ ;
- > *des critères agro-écologiques* sont souvent utilisés en combinaison avec des critères techniques ;
- > *des critères économiques* ou alimentaires permettent enfin d'affiner des classifications. Il s'agit d'indicateurs tels que, par exemple, la part des revenus ou celle de l'alimentation de la famille provenant des productions animales.

Les critères de classification des systèmes d'élevage sont souvent combinés en fonction des objectifs et sont adaptés aux spécificités d'une situation donnée.

Nous faisons le choix ici de décrire brièvement quelques systèmes d'élevage caractéristiques des régions chaudes, sans ambition d'exhaustivité et en insistant sur leurs avantages et contraintes. Cette sélection permet de donner une idée de la gamme des différents systèmes que l'on peut rencontrer en Afrique notamment, de l'extensif pastoral à l'intensif hors-sol.

● **Les systèmes pastoraux**

● **Leurs caractéristiques**

Les systèmes pastoraux⁵ se caractérisent par un recours important (sinon exclusif) aux parcours naturels comme source d'alimentation des animaux. Ils concernent essentiellement les herbivores domestiques (bovins, ovins, caprins). On trouve aussi, à la marge, des animaux utilisés le plus souvent comme monture ou pour le transport de marchandises : ânes, chevaux et dromadaires. Ces trois dernières espèces sont aussi parfois utilisées pour la culture ou le transport attelés. En effet, les sociétés pastorales, tout en restant fidèles à leurs traditions et à leurs pratiques d'élevage extensif, sont souvent amenées à cultiver de petites parcelles de cultures vivrières.

3 Dans une tentative de classification des systèmes d'élevage dans le monde (STEINFELD H. and MAKI-HOKKONEN, 1995), la FAO retenait trois critères principaux : le degré d'intégration de l'élevage avec les cultures, la relation des animaux à l'espace et la zone agro-écologique.

4 D'autant plus que les concepts intensif/extensif ne sont souvent utilisés dans ces classements que du point de vue des niveaux relatifs des facteurs de production (intrants) et du facteur travail par rapport au facteur terre.

5 Certains auteurs rapprochent les systèmes pastoraux et les systèmes herbagers extensifs tels que les ranches sud-américains. Si l'utilisation presque exclusive de la ressource pâturée est effectivement une caractéristique commune, d'autres critères (structure de production, organisation, économie) limitent l'intérêt de ce rapprochement.

Ces systèmes ont parfois été caractérisés par la mobilité des troupeaux, mais ce critère ne nous paraît pas suffisant pour les décrire car si les systèmes transhumants et nomades sont typiquement pastoraux, il existe également des systèmes sédentaires de type pastoral. La part du revenu de la famille qui provient des animaux est importante dans ces systèmes et souvent une proportion élevée de produits animaux (viande, lait, sang) est auto-consommée par la famille. Enfin, ces systèmes sont pratiqués dans des sociétés où les valeurs sociales et culturelles traditionnelles restent très présentes.

● Leurs atouts

Ce sont essentiellement :

- > un coût minime de l'alimentation sur parcours ;
- > une opportunité de valoriser les ressources renouvelables de zones défavorables pour la culture, enclavées ou marginales : zones arides et sub-arides, sols pauvres, terrains accidentés...
- > une aptitude des animaux à se déplacer et donc à se rapprocher, à faible coût, des marchés ou des zones de consommation.

Pour les cultures, l'importance du troupeau permet en regard des surfaces cultivées (souvent limitées) un transfert significatif de fertilité, notamment par le parcage des animaux.

● Leurs contraintes et leurs limites

Ces systèmes pastoraux utilisent le plus souvent des «communs», c'est-à-dire des ressources collectives ce qui pose parfois des problèmes importants liés à l'augmentation des effectifs et donc des charges animales dans un contexte climatique aléatoire. La pression sur la ressource pâturée due à la charge animale est souvent aggravée par la compétition pour l'espace avec les agriculteurs. La négociation pour une meilleure gestion collective s'impose alors. Ces systèmes sont aussi confrontés à des difficultés politiques, liées à leur enclavement et à l'irrédentisme traditionnel de ces sociétés pastorales par rapport aux pouvoirs centraux des Etats.

Il est donc difficile de faire évoluer ces systèmes pastoraux, non seulement en raison de leur fort ancrage social, culturel et historique, mais aussi en raison de leur enclavement dans des zones souvent peu équipées et difficiles d'accès. Les innovations techniques appropriées à ce type de système sont également peu nombreuses et la promotion des organisations d'éleveurs pour améliorer la gestion des ressources naturelles (eau, pâturage) et le fonctionnement des filières ne rencontre pas toujours le succès escompté.

● **Les systèmes mixtes agriculture-élevage**

● **L'intégration progressive des activités agricoles et pastorales**

L'augmentation de la population se traduit par une pression accrue sur les ressources, en premier lieu sur la terre, et induit de nouvelles pratiques agricoles et d'élevage. De la spécialisation relative des activités d'élevage et de culture, permise par une faible densité humaine, on passe progressivement à une association voire une intégration de l'agriculture et de l'élevage. Quand la contrainte foncière s'accroît fortement, deux mécanismes sont observés :

- > les agriculteurs intègrent de plus en plus de productions animales dans leur exploitation, à commencer par des animaux de trait pour le travail du sol et le transport. Le rôle économique des productions animales devient plus important, grâce à l'investissement des revenus des cultures dans l'élevage. Il s'agit d'un placement productif qui dépasse le simple rôle de «caisse d'épargne» ou d'assurance, stigmatisé par certains observateurs ;
- > les éleveurs, souvent en difficulté économique en raison de la diminution de l'effectif de leur cheptel, de problèmes climatiques ou d'accès aux ressources, sont amenés à sécuriser leur situation en cultivant de plus en plus. La production des cultures vivrières, rarement suffisante, est complétée par des achats alimentaires financés par les produits de l'élevage.

● **Les atouts**

Les interactions sont importantes et positives dans ces systèmes mixtes :

- > les animaux fournissent aux systèmes de culture, énergie (traction animale) et éléments fertilisants (déjections, fumier...) ;
- > les animaux bénéficient d'apports alimentaires de l'espace cultivé : résidus de culture, adventices, sous-produits des produits vivriers (son de céréales, épiluchures de tubercules etc.), végétation des jachères. À un stade d'intensification supérieur, les cultures fourragères peuvent rentrer dans l'assolement, apportant aux animaux des compléments alimentaires de qualité. Les nouveaux systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale (SCV) offrent aussi des possibilités d'amélioration des systèmes d'alimentation des herbivores ;
- > à ces flux énergétiques (travail) ou de matière organique (fourrages, fumier), il faut ajouter les complémentarités économiques essentielles entre culture et élevage. Le produit financier de la culture est souvent la source de financement des animaux, mais ces derniers peuvent se reproduire et dégager de nouveaux revenus ; ils seront exploités en fonction des besoins de la famille soit pour de l'autoconsommation soit par la vente. La diversité des espèces animales (animaux de basse-cour, petits ruminants, animaux de trait, bovins d'embouche ou d'élevage) confère une réelle souplesse à ce système.

● **Les contraintes et les limites**

Les dynamiques d'intégration de l'agriculture et de l'élevage sont encore très variables d'une région à l'autre et souvent limitées. La traction animale elle-même a souvent été utilisée d'abord comme un facteur d'extension des surfaces plutôt que comme un

facteur d'intensification : les effets pervers de telles pratiques peuvent être importants et nuire à la durabilité des systèmes mixtes. La valorisation de la fumure animale est souvent loin d'être optimisée. Les problèmes de transport se posent fréquemment avec acuité, limitant l'introduction de certaines innovations techniques.

● **Les systèmes péri-urbains**

Les systèmes d'élevage «péri-urbains» se sont développés récemment pour répondre partiellement à l'augmentation rapide de la demande des villes en produits animaux. Ils concernent souvent les espèces à cycle court (volailles, porcs), mais aussi des formes intensifiées d'élevages de ruminants (lait et embouche en particulier). Nous en donnons deux exemples.

● **Les systèmes bovins laitiers péri-urbains**

En plein développement dans de nombreux pays, les élevages péri-urbains laitiers posent aussi divers problèmes liés à cet environnement particulier. La logique d'intensification de l'élevage laitier péri-urbain (bovin en général mais il peut y avoir du lait de petits ruminants au Sahel ou de dromadaire en zone aride) est fondée sur les atouts suivants :

- > une demande urbaine de proximité (filière courte), forte et non satisfaite, dans la majorité des cas, par la production locale ;
- > des avantages comparatifs par rapport aux importations et des cours assez favorables dans de nombreuses grandes villes⁶ ;
- > la proximité des troupeaux bovins (ou d'autres espèces), c'est-à-dire une complémentarité avec l'élevage régional ;
- > l'intérêt porté par de nombreux citadins (fonctionnaires, commerçants, etc.) à ce type d'activité, à la base d'apports financiers et d'un dynamisme indiscutables.

Les contraintes rencontrées sont de natures diverses :

- > la faible technicité des éleveurs, qui sont pour beaucoup des éleveurs débutants ;
- > les problèmes sanitaires, qui se traduisent souvent par des problèmes de qualité des produits et de sécurité alimentaire pour les consommateurs ;
- > des problèmes liés au confinement des animaux dans un espace parfois très limité et à la pollution que cela peut entraîner dans l'environnement péri-urbain.

● **L'embouche de petits ruminants**

L'embouche de petits ruminants en vue notamment d'abattages rituels à l'occasion de fêtes religieuses (Tabaski ou fête du mouton pour les musulmans par exemple), est une activité importante et assez traditionnelle dans de nombreuses villes d'Afrique. Elle peut être très rémunératrice car les cours des petits ruminants sont souvent très élevés au moment de ces fêtes.

Le coût élevé des rations alimentaires pratiquées, souvent très intensives et pas toujours optimisées, est un problème récurrent. Ces rations ne sont bien rentabilisées que

⁶ Cette conjoncture économique s'est améliorée dans les pays de la zone franc où les laits importés sont devenus moins compétitifs, suite à la dévaluation du franc CFA, dans les années 1990.

si le prix de vente est effectivement favorable, ce qui n'est pas toujours le cas, la surproduction étant parfois difficile à éviter.

● **Les élevages hors-sol**

Ce seront parfois des élevages péri-urbains. Leurs principales caractéristiques sont :

- > le niveau élevé d'intensification ;
- > l'alimentation en majorité non produite dans l'unité de production ;
- > la forte charge animale (nombre d'animaux par unité de surface).

Ils constituent parfois un atelier d'une unité de production polyvalente ; en cela ces élevages sont très différents des élevages pastoraux abordés ci-dessus.

Ces élevages hors-sol représentent une forme d'intensification et de spécialisation qui s'est beaucoup développée dans les pays industrialisés et qui pose de gros problèmes de pollution, de bien-être animal, etc. Ces élevages peuvent parfois concerner des ruminants mais les plus caractéristiques sont les ateliers avicoles (poulets de chair ou poules pondeuses par exemple), porcins ou aquacoles⁷.

Il faut signaler que ces systèmes exigeants en aliments concentrés (céréales par exemple) peuvent entrer en compétition avec l'alimentation humaine en termes d'allocation des ressources alimentaires. Ils sont aussi parfois en concurrence sur les marchés de consommation avec les systèmes d'élevage traditionnels du pays.

LES DÉFINITIONS DES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Le système d'élevage peut être défini comme « *l'ensemble des pratiques et techniques mises en œuvre par un éleveur, un paysan ou une communauté pour faire exploiter les ressources naturelles par des animaux et obtenir ainsi une production animale* » ou encore comme « *un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques* ». Rappelons qu'un système est un ensemble d'éléments en relation entre eux, agencés pour concourir à une action commune. Ces différents éléments forment une structure dans laquelle chaque élément joue un rôle particulier ; l'action sur un élément a des conséquences plus ou moins importantes sur le fonctionnement de l'ensemble.

L'étude et l'analyse d'un système d'élevage consistent, pour chaque espèce animale, à se poser des questions sur la façon dont les éleveurs et les différents acteurs concernés – hommes, femmes, enfants – effectuent ou participent à la conduite des troupeaux. Il s'agit de savoir à qui appartiennent les animaux, qui s'en occupe, qui prend les décisions, qui gère la reproduction. On doit repérer qui commercialise les animaux et leurs produits, qui les achète, à quel endroit, quels sont les investissements effectués. Il faut enfin aborder le mode d'alimentation qui fait aussi partie du système de l'élevage, du poulailler familial au parcours des grands transhumants.

Il est possible de schématiser les différents aspects à étudier en se rappelant que les acteurs peuvent être différents, que le troupeau peut être réduit à quelques animaux

⁷ Certaines formes d'intégration de ces élevages entre eux sont à mentionner spécialement, comme, par exemple, les associations porcs-poissons ou aviculture-poissons.

dans le cas des agro-éleveurs ou à de petits animaux, que le facteur temps, difficilement schématisable, ne doit pas être oublié puisqu'il est une composante importante dans l'évolution du troupeau.

Si l'éleveur reste le pôle décisionnel des systèmes d'élevage, le pôle territoire-ressources naturelles et le pôle troupeau constituent la base et la matière, en quelque sorte, de son action. Ils doivent être considérés en eux-mêmes mais aussi dans leurs différentes interfaces.

Tableau 1. Les principales composantes et caractéristiques d'un système d'élevage

Poles	Composantes	Caractéristiques à étudier	Produits de l'analyse
Territoire et ressources (systèmes de culture)	Structure	Unités de ressources fourragères Répartition – Surfaces	Carte
	Production primaire	Phytomasse Composition chimique Valeur alimentaire	Production brute (phytomasse) Valeur nutritive
	Utilisation par l'animal	Accessibilité Appétibilité Ingestibilité	Charge Carte d'utilisation
	Evolution dans le temps	Variations saisonnières Variations inter-annuelles Reproduction de l'écosystème	Suivi des pâturages
Interface	<i>Comportement alimentaire et spatial</i> <i>Bilans : matière organique ; fertilité (liaison avec système de culture)</i> <i>Système fourrager</i>		<i>Bilan fourrager</i> <i>Typologie des surfaces (mode d'utilisation)</i>
Troupeau	Etat	Espèces, race, type génétique Effectif Composition, structure	Pyramide des âges
	Caractéristiques dynamiques	Reproduction (fertilité, fécondité, ...) Mortalité Exploitation et croît	Productivité numérique
	Animal (état individuel)	Etat sanitaire Stade physiologique Etat de développement Performances individuelles	Critères de sélection
	Conduite	Du troupeau De l'alimentation De la reproduction	Calendrier
	Production	Viande, lait, laine, ... Fumier, travail, transport, ...	Produits animaux
Interface	<i>Pratiques - Soins, conduite, savoir-faire - Rôles du cheptel (économique, culturel, religieux) - Modes de valorisation</i>		<i>Diversité des produits</i>
L'éleveur	Ethnie, famille (histoire, projets)		Logique socio-économique
	Organisation de l'élevage: différents agents, fonctions, centre de décision - Organisation du travail: famille, autres		Organisation sociale
	Besoins/Revenus - Autres activités		Budgets
	Relations avec la communauté rurale		Organisation globale
	Service de l'élevage et autres intervenants		
Interface	<i>Organisation foncière - Gestion de l'espace et des pâturages</i> <i>Stratégies: transhumance, fumure</i>		

LES OUTILS DU DIAGNOSTIC⁸

Pour aider à porter un diagnostic utile, une gamme d'outils peut être employée : les enquêtes, le zonage, les suivis d'élevage et les expérimentations chez les éleveurs.

● **Les enquêtes**

Les enquêtes permettent d'aborder la réalité dans des délais courts :

- > *les enquêtes zootechniques* sont centrées sur l'animal, le troupeau et sa productivité ; nous y reviendrons dans la partie «analyse zootechnique» ;
- > *les enquêtes systémiques* sont davantage centrées sur l'acteur, ses pratiques, ses modes d'organisation.

● **Connaître les acteurs**

Dans bien des cas, un des premiers points à élucider est celui de la propriété des animaux. Il arrive que l'éleveur ne soit pas propriétaire des animaux ou qu'il y ait partage de propriété. Les intérêts des uns et des autres peuvent être différents, voire quelquefois contradictoires. Il est également nécessaire de savoir comment sont acquis les animaux, sans oublier les héritages, les dons ou les dots.

Les tâches liées à l'élevage sont souvent réparties dans la famille ; elles peuvent être aussi réparties selon le type d'animal. Il est nécessaire de déterminer qui s'occupe de quoi et de quelle manière.

Un autre point important de la conduite des troupeaux est de savoir qui prend les décisions techniques (reproduction, déplacements) et qui gère la composition du troupeau (achats, ventes et dons, taille du troupeau, préférences en termes de production et donc d'espèce, de race, de sexe et d'âge des animaux). Il s'agit également d'identifier les mécanismes de gestion de ce moyen de production particulier : objectifs de l'éleveur et critères de décision (quelles informations utilise-t-il pour faire ses choix ?). Il faut enfin cerner les modalités d'organisation et de mobilisation des autres moyens de production (terre, travail, autres éléments du capital).

● **Analyser les pratiques**

Les pratiques sont les façons de faire individuelles des éleveurs observables sur le terrain. Elles évoquent le savoir-faire individuel dans l'exécution d'une technique donnée (qui le fait, comment, quand, dans quelles conditions, etc.) : pour la traite par exemple, l'analyse des pratiques d'un éleveur passe d'abord par le repérage de l'acteur (qui traite : l'éleveur, un salarié, sa femme... ?) et l'observation de la fréquence de traite, de l'horaire, de la durée, du lieu, de la présence ou de l'absence du veau et de son rôle du veau, des pratiques d'hygiène, etc.

On distingue des pratiques d'agrégation (constitution d'ensemble d'animaux conduits en groupe), de conduite (soins, alimentation, abreuvement), de reproduction et de renouvellement du troupeau, des pratiques territoriales, appliquées à l'espace et aux ressources, et des pratiques de valorisation.

⁸ Cf. chapitres 11, 12 et 32.

Celles-ci nous renseignent sur les projets et les contraintes des familles concernées ; elles font en général l'objet d'entretiens avec les éleveurs autour de trois groupes de questions :

- > *comment faites-vous ou quelles sont vos pratiques* (sanitaires, alimentaires, de logement des animaux, d'utilisation et de gestion des ressources, de valorisation des produits, etc.) ? Il s'agit de repérer les modalités des pratiques.
- > *pourquoi faites-vous ainsi* ? On essaie alors notamment de faire expliquer par l'éleveur les différences observées entre ses propres pratiques et celles d'autres acteurs. Il s'agit de comprendre les déterminants des pratiques ou leur opportunité.
- > *quels sont les effets de ces pratiques* ? Contrairement aux deux précédents, cet aspect est plus difficile à traiter uniquement par enquête ; son étude justifie parfois des dispositifs d'observations plus lourds : expérimentation, suivis. C'est l'efficacité ou l'efficace des pratiques (ou, plus souvent, des combinaisons de pratiques) que l'on cherche à mettre en évidence.

● Connaître les organisations

Il est nécessaire de distinguer les organisations traditionnelles et les nouveaux groupements ou associations d'éleveurs. Les organisations traditionnelles sont très souvent caractéristiques d'une communauté ethnique dont il faut apprendre à connaître l'organisation sociale. Cette connaissance est particulièrement indispensable pour comprendre les prises de décisions. Plusieurs thèmes doivent être abordés au cours des enquêtes :

- > composition des groupes familiaux, lignages et clans, dont l'importance est toujours primordiale dans les sociétés où l'élevage bovin est au centre de la vie sociale et économique ;
- > organisation hiérarchique au niveau de la communauté (certaines sont très hiérarchisées, d'autres beaucoup plus égalitaires) ;
- > importance et organisation des groupes constitués lors des déplacements, particulièrement chez les éleveurs nomades ;
- > organisation de l'habitat, des camps de transhumance ;
- > liaison entre l'organisation sociale et l'organisation religieuse.

Les groupements ou associations d'éleveurs, de constitution récente et appuyés par l'administration locale ou par des projets de développement doivent également être étudiés. Le chapitre 221 du *Mémento* leur est consacré.

Les enquêtes semi-ouvertes, plus qualitatives que quantitatives en raison de la difficulté fréquente à quantifier les observations lors des entretiens, sont souvent plus rapides et moins coûteuses à mener que les enquêtes fermées à questionnaire. Elles fournissent une information plus riche et plus utile à la compréhension du fonctionnement du système d'élevage.

Dans tous les cas, il convient de prendre en compte les acquis, en analysant la bibliographie (officielle et *littérature grise*), mais aussi en consultant les personnes-ressources, souvent très diverses.

● La diversité spatiale : le zonage

S'intéresser à la diversité dans l'espace n'est pas spécifique à l'étude des systèmes d'élevage. C'est souvent une démarche préalable à tout travail sur le terrain.

Le principe en est simple : il consiste à reconnaître que toutes les situations, du point de vue des objectifs de travail que l'on se donne, ne sont pas comparables dans l'espace ; les analyses et propositions seront d'autant plus pertinentes que les éléments de cette diversité sont bien pris en compte dès le départ. Le zonage permet de décrire cette diversité spatiale et de distinguer des unités géographiques, en utilisant d'abord les informations disponibles. Il n'existe, en effet, pratiquement pas de région sur laquelle on ne sache rien.

Le *zonage à dire d'acteurs* constitue une possibilité de reconnaissance rapide d'une région. Il privilégie l'implication dans l'analyse de la situation de différentes catégories d'acteurs de la région étudiée. Il débouche donc plus rapidement sur des questions et des négociations entre ces acteurs locaux ou régionaux.

Il est aussi possible d'effectuer des reconnaissances rapides du terrain en réalisant des transects ou des survols pour vérifier, par rapport à une problématique propre, certains éléments de la variabilité géographique, comme par exemple la distribution des populations animales (trypano-tolérantes/trypano-sensibles par exemple) ou la répartition des vecteurs de maladies (glossines, tiques...) ou d'autres facteurs de risque (galeries forestières, eaux stagnantes...).

Des enquêtes rapides avec différentes personnes-ressources permettent de compléter les observations directes.

Le zonage résulte finalement de la synthèse de deux types d'éléments : les caractéristiques générales, correspondant au milieu biophysique (sol, altitude, climat, hydrographie, végétation,...) ou humain (peuplement, occupation de l'espace, diversité des activités...), et les caractéristiques plus spécifiques de l'étude projetée des systèmes d'élevage (pâturages, types d'animaux, pistes à bétail, marchés...).

La représentation que l'on peut se donner d'un espace dépend en effet du point de vue adopté. Cette représentation n'est pas la même selon que l'on étudie, par exemple :

- > *l'impact et l'éradication d'une maladie parasitaire* : on s'intéresse alors plus particulièrement à des facteurs tels que l'écologie des vecteurs et des parasites, la répartition des espèces, etc. ;
- > *l'organisation d'une filière* : on s'intéresse alors plus particulièrement aux voies de communication, aux moyens de transport, aux marchés....

Dans le cas d'une étude générale, des recoupements ou superpositions de différents zonages peuvent être très instructifs.

● Les suivis d'élevage

Les enquêtes instantanées, rétrospectives ou répétées donnent en général des informations indispensables mais restent encore insuffisantes pour l'élevage. En effet, la personne enquêtée ne possède pas nécessairement l'information requise (nombre d'animaux vendus, de naissances, mortalité dans le troupeau). Même s'il la possède, il peut aussi ne pas la communiquer fidèlement pour diverses raisons.

Des facteurs culturels peuvent jouer à ce niveau : interdits ou craintes liées par exemple à l'imposition sur le cheptel en Afrique (de nos jours souvent abandonnée) provoquent encore couramment des réticences pour communiquer à un enquêteur l'effectif du troupeau.

Pour améliorer la connaissance des troupeaux et des systèmes d'élevage, il est apparu nécessaire de développer d'autres outils : les suivis d'élevage.

Ces suivis sont fondés sur l'identification et l'observation individuelle des animaux et prennent en compte le temps grâce à des passages réguliers (étude diachronique). Cela permet de positionner clairement les événements de diverses natures (reproduction, santé, alimentation, ventes, mortalités...) et de mettre en évidence des effets saisonniers et inter-annuels, qui peuvent être très importants en milieu tropical.

On peut distinguer deux types de variations temporelles pour l'étude de l'élevage :

- > le temps *rond* illustre le cycle des saisons : cette représentation traduit bien les variations saisonnières de la production fourragère et des mouvements de troupeaux mais ne permet pas de représenter les effets inter-annuels ;
- > le temps *long* illustre la succession des années : il permet d'aborder les effets inter-annuels ou des pas de temps plus longs tels que la carrière des femelles bovines ou le progrès génétique au fil des générations.

Les suivis nécessitent une forte adhésion de l'éleveur, qui doit coopérer pendant un certain temps avec l'observateur. Il est souvent difficile de maintenir l'intérêt des éleveurs lors d'un suivi d'élevage de longue durée, et parfois nécessaire de soutenir la motivation des partenaires par certaines incitations, même si elles sont ponctuelles et symboliques, et malgré les biais qu'elles peuvent entraîner.

Exemples de bases de données

Les suivis d'élevage débouchent sur des bases de données importantes et des méthodes de gestion des données originales : méthode Panurge et base de données relationnelles Baobab, construites par le CIRAD-EMVT et l'ISRA au Sénégal ; logiciel Laser (Logiciel d'aide au suivi des élevages de ruminants) du CIRAD-EMVT, 1998, par exemple.

Il faut souligner quelques avantages importants de ces suivis d'élevage :

- > la précision et la diversité des informations recueillies constituent un point fort et un progrès déterminant ;
- > la relation de confiance qui s'établit entre le producteur et l'observateur permet en général d'améliorer considérablement la qualité des informations (vérifications, compléments d'information...) ;
- > le mode d'enregistrement des informations favorise la prise en compte des interactions entre facteurs (exemples : contraintes de travail et pratique d'élevage ou problème de trésorerie et décision de vente...) ;
- > enfin les réseaux de suivi se prêtent en général à d'autres fonctions telles que l'expérimentation, les démonstrations, la formation des éleveurs, la mise en place d'organisations de producteurs, etc.

● Les expérimentations en milieu éleveur

Si l'expérimentation en station est bien maîtrisée et connue, ce n'est pas vraiment le cas de l'expérimentation chez les éleveurs, qui pose bien d'autres problèmes tels que l'hétérogénéité du milieu, les effectifs animaux souvent modestes, la diversité des productions animales (lait, viande, travail, fumier...), la prise en compte du temps, la mobilité des animaux etc.

Certaines de ces difficultés sont plus importantes en milieu tropical, notamment chez les éleveurs traditionnels (mobilité, troupeaux peu spécialisés...). Il est clair que l'expérimentation chez des éleveurs transhumants ou nomades pose des problèmes très particuliers.

Les objectifs de ces expérimentations peuvent être divers :

- > adapter des solutions connues ailleurs (un traitement chimique des fourrages par exemple) ;
- > tester des solutions correspondant à des hypothèses de travail (une complémentation minérale qui peut jouer sur la fertilité des femelles par exemple) ;
- > évaluer l'impact de certaines innovations (une saison de monte ou un supplément alimentaire par exemple). C'est le cas illustré ci-dessous, qui montre les résultats zootechniques d'une complémentation alimentaire dans les élevages caprins au nord du Sénégal.

Tableau 2. Essais de complémentation en milieu éleveur: paramètres zootechniques et productivités des caprins de la région Nord Sénégal/Sud Mauritanie. Les résultats de ces essais sont comparés aux moyennes obtenues en Moyenne Vallée et dans la région de Louga.

	Delta du fleuve			Moyenne-Vallée	Région de Louga
	Avec complémentation	Sans complémentation	Ensemble		
Taux de fertilité (%)	97	78	87	92	83
Taux d'avortement (%)	8	8	8	11	21
Taux de mise bas (%)	89	72	80	82	81
Prolificité*	122	119	120	112	124
Nombre de nés par an*	109	86	96	92	100
Mortinatalité (%)	3	3	3	2	8
Taux de fécondité (%)	106	83	93	90	100
Mortalité 0-3 mois (%)	7	12	9	10	13
Prod. numérique à 3 mois*	99	73	85	81	87
Poids âge type à 3 mois (kg)	7,7	7,6	7,7	9,0	7,9
Prod. pondérale à 3 mois (kg)	7,6	5,5	6,5	7,3	6,9

* pour 100 femelles mises à la reproduction.

Source : TOURRAND J.F., LANBDAIS E., 1996. *Productivité des caprins dans les systèmes de production agricole du Delta du fleuve Sénégal*. Rev. Elev. méd. vét. pays trop., 49 (2) : 168-173.

Un aspect original de l'expérimentation en milieu éleveur est la possibilité de faire des analyses comparatives en situation réelle, en utilisant la diversité du réel comme un facteur expérimental de variation. Cela peut s'appliquer, par exemple, à la diversité génétique entre espèces ou entre races d'une même espèce, au risque sanitaire (entomologique par exemple), à la saison de mise bas, etc.

L'expérimentation en milieu éleveur sollicite le producteur et favorise le dialogue, l'évaluation et la restitution des résultats.

Trois remarques peuvent être rappelées en conclusion de cette présentation des outils de base du diagnostic sur les systèmes d'élevage :

- > la flexibilité : le dispositif à mettre en place pour le diagnostic, l'étude et l'amélioration d'un système d'élevage doit être adapté à un contexte local et tenir compte des objectifs, des moyens, des délais, etc. Il a pour finalité de produire le type de résultat attendu de la façon la plus efficace et la plus rapide possible ;
- > la nécessité de hiérarchiser et de synthétiser les principales contraintes et les problèmes qui en résultent pour les éleveurs, afin de pouvoir rechercher avec eux des solutions ;
- > la participation des acteurs (agriculteurs, éleveurs, agents des filières...) est un point auquel il faut être attentif aux différentes phases de l'opération. Cette participation active des partenaires du terrain peut parfois paraître contraignante, mais elle est la garantie pour la recherche-développement de rester pratique, finalisée et bien comprise des bénéficiaires.

LES MÉTHODES SPÉCIFIQUES

Des méthodes spécifiques permettent d'approfondir l'analyse des systèmes d'élevage dans deux directions :

- > *l'analyse zootechnique*, à orientation technique, s'intéresse à la composante troupeau en étudiant ses performances et sa production ;
- > *l'analyse économique* prend en compte la multiplicité des produits et leur rythme particulier de production, en étudie les modes de valorisation et les revenus.

● **L'analyse zootechnique**

L'analyse zootechnique est centrale dans l'étude des systèmes d'élevage. Elle a pour objectifs :

La caractérisation quantifiée et l'évaluation chiffrée des performances animales

Cela suppose donc de définir les paramètres adéquats, de savoir les mesurer, les enregistrer et les traiter statistiquement.

La connaissance des facteurs de variation de ces performances

Il s'agit d'identifier les principaux facteurs qui influencent la production animale (race, sexe, mode d'élevage, système d'alimentation, etc.). L'identification de ces facteurs passe par des enquêtes et suivis d'élevage.

L'estimation des effets de ces facteurs

Des dispositifs adaptés (expérimentation en milieu éleveur par exemple) sont souvent nécessaires pour atteindre cet objectif. Compte tenu du nombre de facteurs susceptibles d'influencer la production animale (facteurs génétiques, nutritionnels, sanitaires, saisonniers, pratiques des éleveurs...), il faut parfois des dispositifs assez lourds en termes de nombre d'animaux, de durée des observations, etc.

L'analyse zootechnique est donc nécessaire pour maîtriser et évaluer des programmes d'amélioration de l'élevage.

Elle suppose souvent des dispositifs de contrôle des performances animales, des enregistrements et la gestion de bases de données, des programmes d'analyses et des interprétations des résultats. L'ensemble de la démarche peut être appliqué à divers types d'intervention en milieu éleveur dans des domaines tels que l'amélioration génétique, l'alimentation, les complémentations, la gestion des ressources fourragères, les essais vétérinaires et la prophylaxie, etc.

● Performances zootechniques et productions animales

Il est utile de faire d'abord la distinction entre performances zootechniques et productions animales.

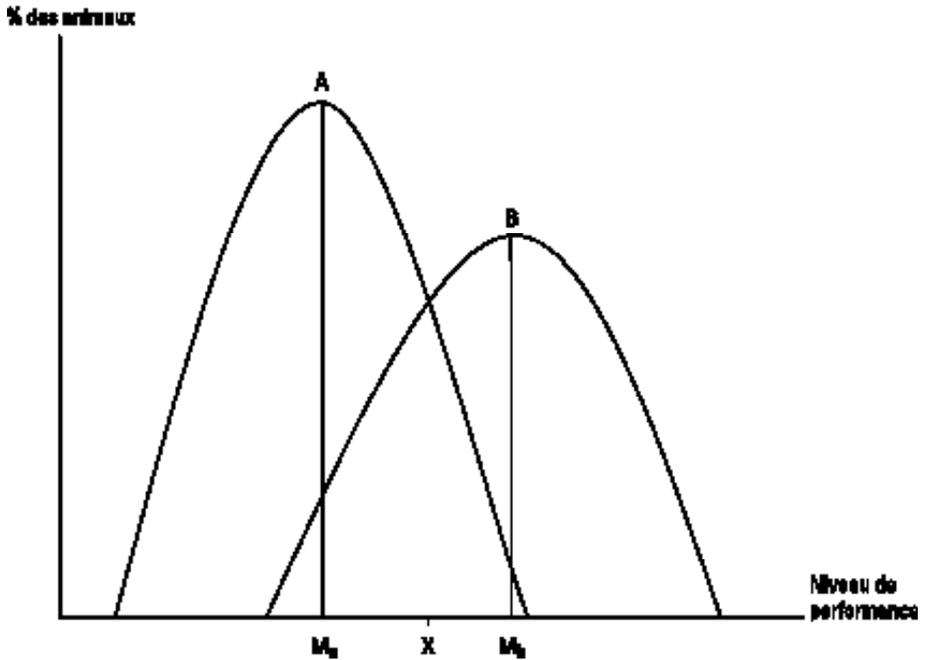
Les productions animales résultent de l'exploitation par l'homme des aptitudes biologiques des animaux : elles correspondent à l'exploitation et donc à une notion économique. On distingue deux types génériques de productions animales : les productions «renouvelables» (lait, laine, travail, fumier, etc.) et les productions «terminales» (viande, cuir, abats, os, etc.). Comme pour le bois d'un arbre, il faut abattre l'animal pour disposer de sa production terminale. La production est le fait d'une décision d'exploitation de l'éleveur : décision d'abattre un animal de boucherie, d'atteler un animal de trait, de traire plus ou moins une femelle en lactation, etc.

Les performances zootechniques caractérisent plutôt l'aptitude biologique de l'animal pour différentes fonctions. Ces performances zootechniques (croissance, travail, reproduction, etc.) traduisent une aptitude biologique, soumise à un ensemble d'interactions (génotype/environnement) et qui n'est pas strictement sous la dépendance directe de l'homme.

Production et performance sont évidemment liées. Ainsi le poids de la carcasse d'un animal (production) dépend de ses performances de croissance, surtout pour un jeune animal. La performance est souvent établie dans des dispositifs d'observation ou des protocoles de contrôle individuel de performance : contrôle laitier, protocole de contrôle de croissance des jeunes, etc. Elle permet notamment des comparaisons et des classements à des fins de sélection par exemple. Pour cela, elle devra souvent être située dans un référentiel précis. Elle n'a pas de valeur dans l'absolu : on ne pourra comparer, sans précaution, les performances de croissance de bovins charolais avec des zébus africains, ni même dans un même pays les performances de races différentes : par exemple, au Nord de la Côte d'Ivoire, les populations bovines «taurin Baoulé», «taurin N'Dama» et «zébu sahélien» qui se côtoient ne peuvent être traitées aveuglement en termes de performances. La figure 1 illustre schématiquement cette situation pour deux populations telles que les taurins Baoulé (A) et zébus (B) en Côte d'Ivoire.

On voit bien, à partir de ce schéma, l'erreur qui peut être faite pour un animal situé en X (entre MA et MB) si l'on ignore la population à laquelle il appartient, car il est supérieur à la moyenne de la population A (taurin Baoulé) alors qu'il est inférieur à la moyenne de la population B (zébus).

On peut donc proposer la définition suivante : une performance zootechnique est un indicateur permettant de juger de la qualité d'un animal ; par extension le concept est applicable à un lot d'animaux, ou à un système d'élevage. Les variables zootechniques qui vont permettre d'évaluer ces performances sont de nature différente de celles qui caractérisent les productions.



► Figure 1 : Distribution schématique des performances (gain moyen quotidien, par exemple) pour deux populations A (Taurins Baoulé) et B (Zébus)

● Différents types de variables

Pour effectuer une analyse zootechnique, différents types de variables sont utilisés (cf. le tableau 3) :

- > les *paramètres zootechniques* caractérisent réellement les performances animales (aptitudes des animaux pris individuellement ou collectivement) ;
- > les *paramètres d'exploitation* dépendent des décisions de l'éleveur et des interventions humaines : prélèvement de lait, de travail, de fumier, tonte, etc. Ils caractérisent la manière dont l'éleveur exploite ses animaux par ses prélèvements. Le niveau d'exploitation n'est pas nécessairement proportionné aux performances animales. Par exemple, en cas de grande sécheresse, les performances des élevages sahéliens sont faibles (productivité numérique faible) alors que l'exploitation du troupeau peut s'accroître (taux d'exploitation élevé) ;
- > les *variables de conduite* sont souvent qualitatives et correspondent aux savoir-faire et aux pratiques d'élevage. On peut les décrire et les classer mais elles sont difficilement mesurables et il est également difficile d'en chiffrer les effets ;
- > les *variables exogènes*, telles que le climat et les prix, peuvent influencer fortement le système d'élevage. Elles peuvent donc jouer un rôle important dans les analyses zootechniques.

Des éléments de classification de ces variables sont proposés au tableau 3.

Tableau 3. Eléments de classification des variables utilisées pour les analyses zootechniques et démographiques

Evaluation / nature	Les individus	Les groupes d'animaux
Performances animales	<p>Variables quantitatives : mensurations (cm) poids vif (kg) poids à âge type (PAT) GMQ* (g/jour) production laitière</p> <p>Variables calculées à partir d'événements discrets – non répétables (une observation par individu) naissance première mise bas réforme (= longévité) – répétables (plusieurs observations par individu) les mises bas : <u>durée des IMB</u>** – synthétiques (sur la carrière des femelles ou par an) nombre de mises bas prolificité nombre total des produits sevrés poids de produits / mère</p>	<p>Variables /Mortalité : taux et quotients de <u>mortalité</u>/viabilité par classes d'âge et de sexe ou par catégories</p> <p>Reproduction : taux de fertilité taux de mise bas taux d'avortement taux de natalité taux de prolificité taux et quotient de <u>fécondité</u></p> <p>Productivité numérique : taux de productivité au sevrage (rendement numérique)</p> <p>Variables d'état des populations : effectifs structure par classes d'âge et de sexe : pyramide des âges composition</p>
Paramètres d'exploitation	<p>Âge/poids à la vente Age/poids à l'abattage Quantité de lait prélevée par la traite Quantité de travail animal exploitée : périodicité, durée, intensité</p>	<p>Taux d'exploitation : croît numérique net/brut Taux d'immigration</p> <p>Rendement numérique : Productivité pondérale</p>
Variables externes	<p>Variables de conduite Variables environnementales, socio-économiques, de politiques agricoles. Exemple: les prix des animaux</p>	

* GMQ: gain moyen quotidien (voir ci-dessous: transformation des variables).

** IMB: intervalle entre mises bas (exprimé en jours ou en mois), il caractérise la fécondité d'une femelle dont on a enregistré plusieurs mises bas, alors que le taux de fécondité exprime la même aptitude pour un groupe de femelles pour une période donnée (un an le plus souvent).

Sont soulignés les paramètres démographiques usuels.

Les variables démographiques concernent des individus ou des groupes d'animaux. On distingue classiquement des variables qui caractérisent des états du troupeau (effectif et composition du troupeau à l'instant t) et des variables qui caractérisent la dynamique du groupe (reproduction, viabilité, productivité numérique).

Certaines variables sont mesurables. Elles sont particulièrement utilisées dans les analyses zootechniques, zoo-économiques et en génétique quantitative. Ce sont par exemple le poids, les mensurations, la production laitière, la consommation alimentaire, la puissance développée, etc.

Les événements discrets sont des événements aléatoires répondant à la loi du tout ou rien (animal né, mort, sorti, acheté,...) concernant la reproduction, la viabilité/mortalité, les «mouvements» dans le troupeau (entrées/sorties)... Les paramètres démographiques sont relatifs à ce type d'événements ; ils sont évalués en termes de fréquence pour une période donnée, ce qui suppose :

- > d'enregistrer précisément ces événements : vêlages, mortalités, etc. ;
- > de se rapporter à un effectif de référence (de reproductrices) ;
- > de considérer une période de temps donné : l'année, la carrière, etc.

Il est fréquent d'effectuer des transformations des variables zootechniques : les variables brutes (observations de base) doivent souvent être mises en relation avec des variables externes telles que le temps ou la surface. D'autres transformations consistent à mettre en rapport deux variables zootechniques. Les exemples de variables transformées sont nombreux, en production animale, comme :

- > *le poids à âge type* (PAT) : il résulte d'un ajustement sur un âge de référence (1 an ou 18 mois par exemple) pour faciliter les comparaisons ;
- > *le gain moyen quotidien* (GMQ) : exprimé en g/jour, il caractérise la «performance» (aptitude biologique) de croissance pondérale ;
- > *le rendement à l'abattage* (poids de la carcasse/poids vif de l'animal) est une variable qui caractérise les qualités bouchères des animaux ;
- > *l'indice de consommation* (nombre d'unités fourragères consommées par kilo de gain de poids vif) caractérise l'efficacité de la conversion alimentaire ;
- > *la charge animale*, exprimée par exemple en nombre d'unités bovins tropicaux par hectare (UBT/ha) est un indicateur exprimant la quantité d'animaux sur le pâturage.

Ces variables transformées sont des variables de travail sur lesquelles portent les analyses statistiques et les interprétations ultérieures.

● **Modes d'observation et méthodes de collecte**

Les modes de collecte de ces données correspondent aux enquêtes, aux suivis et aux protocoles. On peut schématiser en présentant les trois types d'observations suivants :

L'observation instantanée, synchronique ou transversale

Elle vise à donner une image instantanée de la population à un instant donné. C'est le cas par exemple des effectifs, de la composition par âge et sexe, des poids, des mensurations ou de l'infestation parasitaire à l'instant t . Les méthodes employées sont en général les recensements, les enquêtes par comptages ou par entretiens, les contrôles instantanés, etc.

L'observation diachronique ou longitudinale

Elle comporte des variantes :

- > l'observation rétrospective de t à $t-1$ est souvent utilisée dans les enquêtes démographiques à un seul passage : c'est le cas des enquêtes sur la carrière des reproductrices ; on se fonde sur la mémoire et les réponses de l'interlocuteur ;
- > les observations répétées dans le temps à t , $t+1$, $t+2$, etc. Elles se font à l'occasion de passages périodiques dans les troupeaux : contrôles mensuels, inventaires annuels ;
- > les observations continues ou suivies permettent d'observer et d'enregistrer les événements en «temps réel», ce qui fournit une plus grande précision et la mise en relation des faits zootechniques observés (naissances, décès, maladies, ventes, etc.) avec des observations d'une autre nature (transhumance, vaccination, complémentation, etc.).

Les protocoles

Ce sont des méthodes d'observations souvent appliquées aux performances de production : contrôle laitier, de croissance, etc. Ils ont pour objet de définir le type et le

mode d'observations à effectuer et à consigner, ainsi que le traitement auquel donneront lieu les données recueillies.

● Les paramètres zootechniques

● Les variables d'état

L'effectif

Cette variable d'état apparemment banale pose souvent des problèmes dans les pays en développement ; son imprécision a des conséquences pour le développement et pour les études ou les évaluations utilisant des indicateurs zootechniques, comme la difficulté de définir des effectifs de référence pour le calcul des paramètres démographiques. Le problème se pose de façon plus aiguë lorsque l'effectif varie beaucoup dans le temps ou dans l'espace.

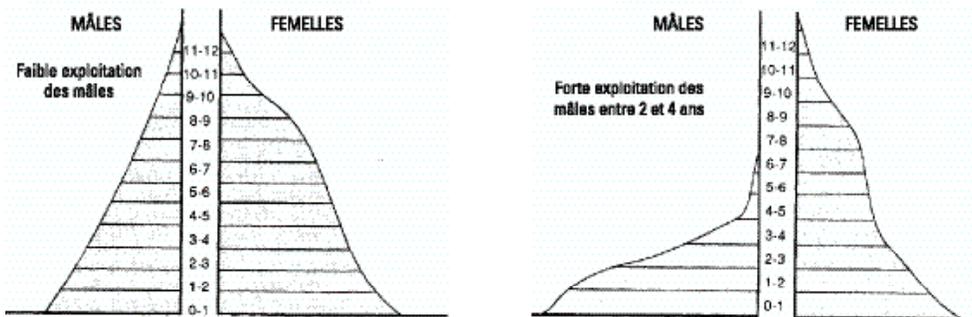
Les recensements peuvent se fonder sur différentes méthodes de dénombrement direct ou indirect, exhaustif ou par échantillonnage ; différentes méthodes de terrain, parfois inspirées de ce qui se fait pour la faune sauvage, ont été développées et peuvent être combinées : points d'abreuvement, survols, sondages, ratios, vaccinations, flux commerciaux, etc.

L'âge des animaux

Il peut être établi par identification et enregistrement des événements : c'est le cas dans les suivis d'élevage, méthode sûre mais longue et relativement lourde. Il peut aussi y avoir des registres dans les élevages qui fournissent cette information de façon fiable. Sinon, il faut se fier aux déclarations des éleveurs ou utiliser l'observation de signes physiques extérieurs tels que les cornes, la table dentaire, etc.

La structure, la composition et la pyramide des âges

La structure démographique est la répartition des animaux par sexe et classe d'âge. La pyramide des âges (cf. figure 2) en est la représentation graphique : c'est un histogramme particulier qui donne une idée de l'évolution de la population (régime démographique) mais dont l'interprétation peut être délicate. Il est souvent hasardeux d'en déduire les paramètres démographiques.



► Figure 2 : Deux exemples de pyramides des âges de troupeaux bovins

La composition de troupeau est une structure simplifiée qui peut rendre service sur le terrain quand il est difficile d'obtenir des âges précis. Elle utilise par exemple les catégories suivantes pour les bovins :

- > *veau/velle* : jusqu'à douze mois ;
- > *taurillon/bouvillon/génisse* : de un à trois ans ;
- > *taureau/vache* : de quatre à dix ans ;
- > *vache hors d'âge* : onze ans et plus ;
- > *bœuf de travail* : trois à huit ans.

● **Les performances de reproduction**

Il existe dans ce domaine de nombreuses aptitudes biologiques dont il faut préciser les définitions et les formules avant de les utiliser. Il est utile de se référer aux définitions couramment admises ou, sinon, de bien définir sa propre formule de calcul.

La fécondité est l'aptitude d'une femelle à donner la vie (nombre d'animaux vivants auxquels une femelle a donné naissance par an ou au cours de sa carrière). C'est une caractéristique globale, qui dépend de :

- > *la fertilité ou aptitude à la reproduction*. C'est l'aptitude d'une femelle à être fécondée. Au niveau collectif, c'est le nombre de femelles fécondées pour cent femelles mises à la reproduction. C'est un critère difficile à estimer chez les éleveurs, car les avortements précoces passent inaperçus ;
- > *la prolificité ou nombre de produits nés vivants par mise bas*. C'est un caractère génétique, qui dépend de l'espèce et aussi de la race ;
- > *la précocité sexuelle ou âge à la puberté* : six mois à un an chez les ovins et les caprins, deux à quatre ans chez les bovins en régions chaudes. En raison de la facilité d'observation et d'enregistrement, on utilisera souvent, sur le terrain, le critère de l'âge à la première mise bas comme indicateur de la précocité.

Les caractéristiques de reproduction dépendent beaucoup de l'alimentation et de l'état sanitaire du troupeau : de mauvaises conditions retardent l'âge de la puberté, diminuent la prolificité, entraînent de nombreux avortements, et donc contribuent à abaisser la fécondité.

Les principaux paramètres de reproduction sont présentés dans les tableaux 4 et 5. Ces performances de reproduction se combinent avec la viabilité pour déterminer la productivité numérique, comme cela est présenté au tableau 4. La productivité numérique considérée comme une aptitude biologique est surtout pertinente à la naissance (il s'agit alors du taux de fécondité) ou au sevrage ; en effet, la productivité numérique au sevrage combine la fertilité et la prolificité des mères avec la viabilité des produits (avant leur sevrage). C'est donc un bon indicateur de productivité car, en général, peu de prélèvements sont effectués par l'éleveur avant le sevrage des jeunes.

Tableau 4. La productivité numérique au sevrage en élevage bovin, ovin ou caprin

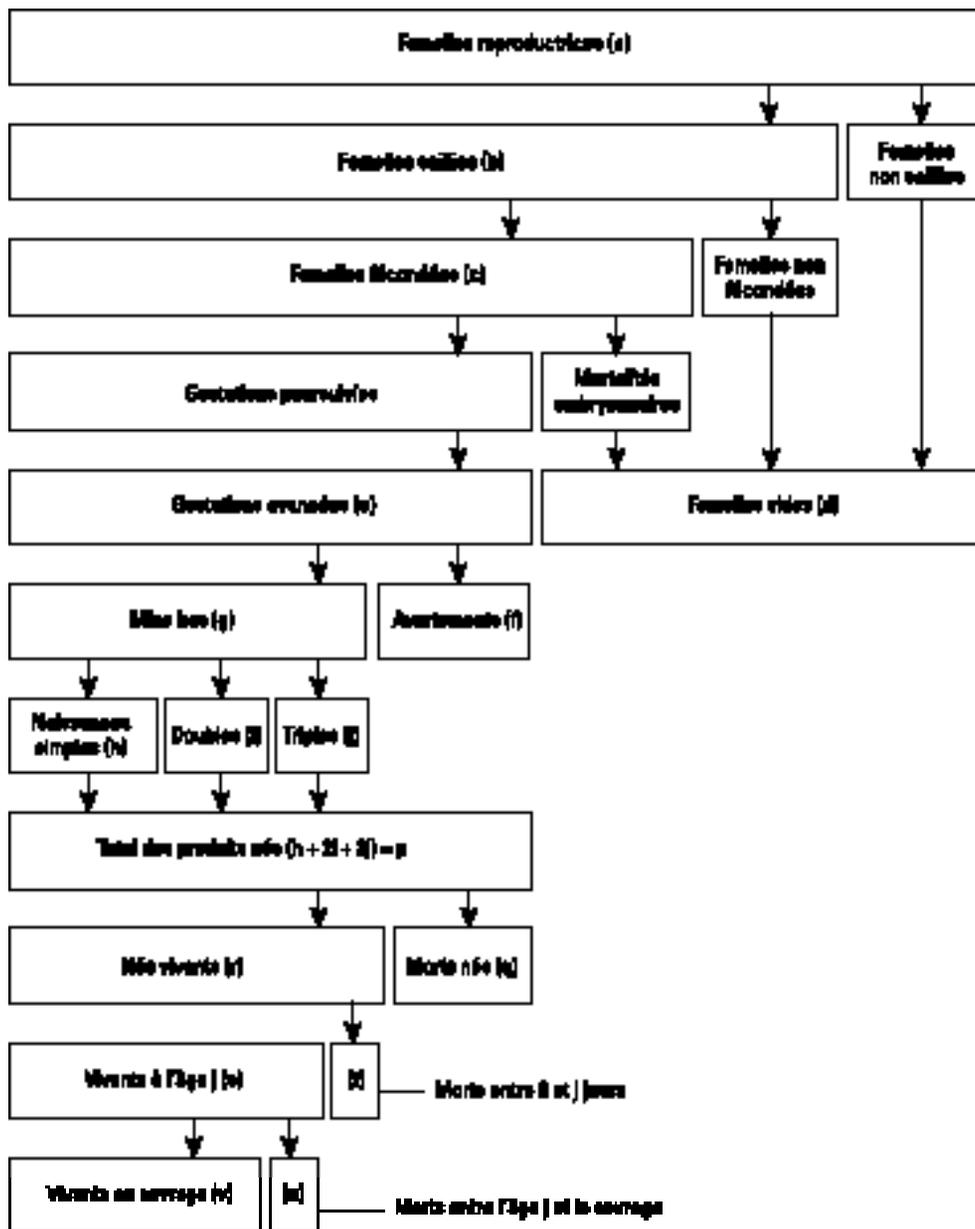


Tableau 5. Paramètres de reproduction

Taux de fertilité apparente	TFA = e/a	Taux de fécondité	TF = r/a
Taux d'avortement	TAV = f/a	Taux de mortinatalité	TMN = q/p
Taux de mise-bas	TMB = g/a	Taux de mortalité infantile endogène	TMIE = t/p
Taux de mise bas simples	TMBS = h/g	Taux de mortalité périnatale	TMP = (q + t)/p
Taux de mise bas doubles	TMBD = i/g	Taux de mortalité globale avant sevrage	TMS = (t + u)/r
Taux de mise bas triples	TMBT = j/g	Viabilité au sevrage	VS = v/r
Taux de mise bas multiples	TMBM = (i + j)/g	Productivité numérique au sevrage	PNS = v/a
Taux de prolificité	TP = p/g		
Taux de natalité	TN = p/a		

● Les paramètres d'exploitation

Pour évaluer les paramètres d'exploitation, il faut préciser l'effectif de référence qui peut être l'effectif moyen (N, Nm) ou l'effectif initial (Ni). Trois paramètres complémentaires sont utilisés :

- > *le taux d'exploitation numérique* EN = nombre d'animaux exploités/N. Il faut parfois distinguer l'exploitation volontaire (abattages, vente, dons, etc.), d'événements qui jouent le même rôle sur l'évolution du troupeau mais qui sont de nature totalement différente tels que les vols et les pertes ;
- > *le croît numérique* CN, qui peut être négatif. On distingue le croît brut : CNB = (N final - N initial)/Ni, qui comprend les apports extérieurs (immigration), et le croît net : CNN = (N final - N initial - immigration)/Ni ;
- > *le rendement numérique* caractérise le résultat global pour l'année considérée : RN = EN + CNN (exploitation + croît net)

Le taux d'exploitation, très utilisé, n'est pas suffisant si on ne tient pas compte de la variation d'effectif (comparable à une variation de stock) ; il est donc préférable de préciser les éléments du rendement numérique : exploitation et croît.

Un exemple schématique présenté au tableau 6 illustre le fait qu'un même taux d'exploitation peut correspondre à des situations très diverses. Il s'agit de trois situations sans immigration, à exploitation numérique constante mais avec des naissances et mortalités variables.

Tableau 6. Exemple schématique de trois cas très différents avec un même taux d'exploitation

Cas	Effectif initial N	Morts	Ventes*	Naissances	EN*	Effectif final Nf	Croît	RN
I	100	- 7	- 10	+ 20	10	103	+ 3	+ 13
II	100	- 15	- 10	+ 15	10	90	- 10	0
III	100	- 5	- 10	+ 25	10	110	+ 10	+ 20

* Ventes annuelles et donc exploitations numériques constantes.

EN = taux d'exploitation numérique – RN = rendement numérique.

Le cas I correspond à une situation «normale» avec une exploitation moyenne (10%), un croît modéré (+ 3%) et un rendement numérique moyen (+13).

Le cas II est celui d'un troupeau dont l'effectif baisse, où l'éleveur maintient un taux d'exploitation de 10 % malgré un croît négatif (- 10%) et un rendement numérique nul.

Le cas III illustre un troupeau en expansion, avec une exploitation moyenne (10 %), un croît élevé (+ 10 %) et un rendement numérique fort (+ 20).

● **L'analyse socio-économique**

● **La gestion économique d'un élevage dans l'exploitation**

● **Un objet complexe**

L'élevage constitue un objet d'étude original et complexe. Un certain nombre de caractéristiques doivent être considérées dans l'analyse économique des systèmes d'élevage :

- > la place interactive de l'élevage entre le pôle humain, le pôle animal et le pôle ressources ;
- > les fonctions multiples du cheptel : capital productif de biens et services comme le lait, le fumier, le combustible, le travail, la laine ou les poils ; forme d'épargne ou d'accumulation ; élément indispensable pour certains événements familiaux (dots, funérailles, sacrifices, abattages rituels, etc.) ; dotation pour le démarrage des activités des jeunes ; occupation d'espaces impropres à l'agriculture ; création ou maintien d'emploi ; gestion du risque ; enfin obtention de viande, de cuir ou de peaux après abattage ;
- > la forte valorisation des produits et des sous-produits au sein de l'exploitation et du ménage (apport nutritionnel, énergie pour la cuisson, fumure, force de traction) ;
- > la périodicité des productions et la gestion du risque à différentes échelles de temps et d'espace (cycles réguliers ou non, prévus ou imprévus, à pas de temps variés : sécheresse, maladies, lactation, calendrier agraire) ;
- > la valorisation des ressources : ressources végétales spontanées ou cultivées, ressources communes (terre, eau), ressources dérivées d'autres productions (résidus de culture) ou du ménage (déchets de cuisine) ;
- > la multiplicité des intervenants : dans de nombreuses sociétés rurales, la traite est une opération attribuée à un membre particulier de la famille, alors que l'alimentation est bien souvent gérée indifféremment sur l'exploitation ; en Afrique subsaharienne, les femmes et les fils aînés peuvent hériter de têtes de bétail à l'intérieur du troupeau ;
- > la possibilité de création de valeur ajoutée à la ferme sans investissement important, par la transformation en beurre ou en fromage par exemple. Dans certaines situations toutefois les produits laitiers sont moins valorisés sur le marché que le lait frais.

Les productions connexes à un élevage, comme l'embouche pour les animaux de trait, la traction pour les vaches laitières, la fumure dans les systèmes agropastoraux, peuvent s'avérer importantes dans des situations critiques afin d'éviter la décapitalisation, mais aussi en participant au maintien d'un équilibre naturel fragile.

Il faut noter que l'utilisation de la fumure organique est principalement réservée au système agropastoral intégré. Cette utilisation se fait soit par la mise en place d'enclos fixe, puis recueil des excréments, soit par «parcage» des animaux sur les champs. Dans un contexte de cherté des engrais chimiques ou d'infertilité croissante des sols, la fumure organique peut être l'objet d'âpres négociations et donc entrer dans un circuit marchand.

● **L'intérêt de l'analyse des pratiques**

L'observation des pratiques est un moyen de comprendre les arbitrages des agents entre les différents choix qui s'offrent à eux. Ces pratiques traduisent aussi un savoir-faire au sein d'un groupe culturel et fournissent des indicateurs de changements économiques et sociaux.

À l'échelle de l'exploitation, l'analyse des pratiques d'élevage est généralement au cœur de l'étude économique des systèmes d'élevage et de l'évaluation de leurs performances économiques par rapport aux objectifs poursuivis par les éleveurs (assurance, épargne, revenu du travail, revenu du capital, survie de la famille, alimentation du ménage, minimisation du risque de faillite, accroissement du patrimoine). Ces pratiques se situent au sein du ménage (différenciation des pratiques des hommes, des femmes et des enfants). Au sein d'un groupe familial, il existe plusieurs unités organisationnelles (unité de résidence, de consommation ou d'accumulation) qui remplissent chacune des fonctions particulières (cf. chapitre 31). Se juxtaposent aussi des sous-unités de production (assimilables à des ateliers), d'accumulation voire de consommation, associées à une ou plusieurs parties du cheptel, propriétés d'un membre de la famille. L'identification des agents, de leurs rôles, fonctions, pouvoirs est primordiale pour comprendre les formes et centres d'accumulation.

À l'échelle de la communauté, l'analyse des pratiques d'entraide fournit des informations sur les groupes sociaux et l'observation de l'utilisation des ressources communes, confrontée aux règles théoriques d'accès, met en évidence le degré d'application et les modes de contournement de ces règles.

La gestion du troupeau fait donc intervenir un nombre important d'acteurs, parmi lesquels on peut citer le chef de l'unité familiale de production, les membres de la famille qui possèdent des animaux par héritage ou dotation, le responsable du troupeau collectif, un conseil villageois qui gère les parcours, les services forestiers qui réglementent l'utilisation de zones sylvopastorales, etc. Ce sont les pratiques de l'ensemble de ces acteurs qu'il convient d'analyser.

● **La diversité des indicateurs**

Le tableau 7 illustre la diversité des thèmes traités par l'analyse économique des systèmes d'élevage et les principaux ensembles de variables permettant de réaliser cette analyse.

Tableau 7. Quelques ensembles permettant de classer les indicateurs et les analyses à effectuer pour réaliser un diagnostic économique des systèmes d'élevage

Ensembles à analyser	Indicateurs – Outils d'analyse et de diagnostic
Mode de fonctionnement	Coutumes, règles, stratégies sociales et pratiques collectives: accès aux ressources communes et type d'organisation de la production sur un territoire donné ; Fonctions assignées à l'élevage et produits attendus et prélevés ; Nature et hiérarchisation des flux d'animaux et de leurs produits ; Modes de collecte, d'utilisation, de valorisation, de transformation, de stockage, de transport, de commercialisation des produits animaux; périodicité de prélèvement ; Degré d'intégration des activités d'élevage et de culture (culture attelée, valorisation de la fumure, utilisation des sous-produits de récolte, concurrence pour l'utilisation des ressources etc.).
Approche quantitative des performances animales et végétales associées	Productivité en viande ou lait: kilos de viande ou litres de lait par animal, par hectare, par travailleur ; Traction animale : surface travaillée par heure selon les différents travaux (labour, semis) et l'attelage ou nombre de jours de travail dans la saison (animaux, temps mis à contribution) Fumure : type de fumure (fumier, poudrette, lisier), surface fumée, niveau d'apport ; accroissement des rendements agricoles lié aux apports organiques évalué au prix du marché des produits agricoles obtenus; estimation des économies d'achat d'engrais chimiques.
Viabilité du système Points de blocage et possibilités de reproduction	Couverture des besoins du ménage en termes nutritionnels et monétaires ; Goulet d'étranglement au niveau des ressources (terre, eau), du capital (cheptel, matériel, crédit) ou du travail pendant une période de l'année; forme de contournement de ces facteurs limitants pour maintenir ou accroître la production ; Formation des revenus du paysan soit directement (viande, lait) soit indirectement (travail et service) Bilan économique: valeur ajoutée brute et nette, valeur ajoutée par animal et par hectare des surfaces consacrées aux animaux, marge totale, trésorerie, revenus, etc. Rôle ou mode d'utilisation de l'épargne dégagée des produits de la vente avec fructification ; Evaluation des atouts et contraintes du système d'élevage, identification des pratiques mises en œuvre pour pallier les contraintes, marges de progrès, capacité du système à se reproduire ; Contribution du cheptel à la capitalisation de l'exploitation sur le long terme.
Environnement économique	Degré d'enclavement ou d'isolement ; Relations (formes de contrat ou de coordination) entre producteurs, acheteurs, collecteurs, transformateurs, fournisseurs de services (vétérinaire, banquier) ou de biens (aliments bétail) ; Présence et rôle d'organisations de producteurs dans l'approvisionnement en intrants et la commercialisation des productions ; Existence d'une concurrence proche ou lointaine, avec ou sans subvention, qui déstabilise ou modifie les conditions du marché local ; Politique de protection ou non du marché intérieur (tarification douanière, forme de discrimination des produits) ; Tendance de prix sur les marchés locaux, régionaux ou internationaux.

● Quelques indicateurs économiques synthétiques

L'analyse économique et financière des systèmes d'élevage doit permettre d'évaluer le rôle économique de ces systèmes dans les ménages. Ils sont analysés comme des éléments structurants et fonctionnels des exploitations, remplissant des objectifs socio-économiques et une fonction de bien être (apport nutritif, source de revenu, lutte contre la sécheresse, etc.). Cette analyse a aussi pour objectif d'évaluer l'incidence des contraintes et choix économiques sur l'évolution des conduites d'exploitation et donc de gestion du troupeau. L'analyse technique d'un système d'élevage (caractéristiques du troupeau dans sa composition, son évolution, sa reproduction et sa production) constitue l'étape préliminaire de toute analyse des performances économiques du système (cf. chapitre 32).

Les performances économiques d'un élevage sont en pratique évaluées par une estimation de la valeur ajoutée (VA), au niveau de l'exploitation et au niveau de l'atelier élevage envisagé (lait, embouche, traction).

La valeur ajoutée globale d'exploitation permet une approche économique de l'ensemble de l'activité agricole de l'exploitation. Elle intègre tous les produits liés aux activités d'élevage ou de culture, et les variations d'inventaires de la campagne. Les produits liés à l'élevage sont très variés et l'évaluation monétaire des produits est délicate quand ces biens ou services ne sont pas échangés sur des marchés, ce qui est fréquemment le cas dans les pays en développement. Il est alors nécessaire de trouver un équivalent monétaire qui peut être la valeur des biens échangés sur le marché qui remplissent un rôle similaire (la fumure peut être évaluée au prix des éléments NPK des engrais chimiques proposés sur le marché), à l'accroissement des produits liés à l'utilisation des intrants d'origine animale (valeur au prix du marché de l'accroissement de production des céréales lié au recours à la traction animale ou à la fumure d'origine animale). De l'ensemble des produits sont déduites les consommations intermédiaires supportées par l'exploitation.

À la différence de la valeur ajoutée de l'exploitation, la valeur ajoutée d'un élevage permet une approche de l'atelier de production et de ses relations avec la conduite du troupeau. En gestion agricole, la valeur ajoutée brute d'un atelier d'élevage (VA) sur un exercice t s'écrit : $VA_t = P_t - CI_t - AM_t$.

La production de l'activité, P_t , se compose des ventes nettes des animaux de l'atelier auxquelles s'ajoutent :

- > les ventes nettes de produits animaux effectuées pendant l'exercice ;
- > les prélèvements pour la famille ou la rémunération en nature de salariés ;
- > les cessions internes positives (c'est-à-dire les productions animales cédées à une autre activité de l'exploitation comme la fumure cédée à la culture des céréales)
- > la variation de stock (stock final - stock initial) ;
- > tous les produits annexes associés à cette activité.

Les consommations intermédiaires de l'activité (CI_t) et les amortissements (AM_t) sont détaillés dans le tableau 8. Les cessions internes telles que les matières reçues par l'atelier animal de référence sont valorisées au prix du marché (sous-produits de culture venus d'une autre activité et cédés à l'activité d'élevage considérée). Les frais fixes (notamment d'équipement) associés à 100 % à cette activité sont incorporés au niveau du calcul de la valeur ajoutée nette par le retrait de la valeur correspondant à leur amortissement et à leur entretien.

Pour certaines exploitations, il est parfois extrêmement difficile d'avoir accès aux informations détaillées qui permettent d'attribuer des produits et des charges à une étape de la construction des valeurs ajoutées. Généralement les difficultés liées au calcul de la valeur ajoutée brute d'un atelier sont de deux ordres :

- > une forte imbrication des différents ateliers d'élevage dans une exploitation ; dès lors la VA d'une activité est très dépendante des VA des autres activités ;
- > une place ou une fonction du cheptel vif comme capital productif et/ou produit.

Les variations de la valeur du cheptel entre le début et la fin de l'exercice sont comptées dans la production de l'atelier ou de l'exploitation (y compris dans les situations où le bétail perd de la valeur au cours de sa présence sur la ferme : cas d'une vache laitière ou d'un bœuf de travail ; cette valeur perdue sera déduite de la valeur de la production de l'atelier). Dans le cas d'un atelier où les animaux ne sont pas produits par l'exploitation, un calcul d'amortissement se justifie. Le résultat en terme de valeur ajoutée nette sera identique. Le choix de la méthode de calcul dépend surtout du mode d'exploitation du troupeau par l'éleveur.

La valeur ajoutée nette est très sensible aux effets de structure, à la technicité du chef d'exploitation, à la qualité et la quantité des facteurs de production. Il est donc parfois difficile d'interpréter la valeur ajoutée nette (VAN) de façon pertinente.

La dernière étape d'un calcul économique à l'échelle de l'exploitation est le calcul du revenu. Le revenu est obtenu en déduisant de la VAN les montants correspondant aux charges communes aux différents ateliers (amortissement et entretien des bâtiments/matériels non spécifiques), à la rémunération des facteurs de production non possédés par l'agriculteur (location de terre ou fermage, frais financiers), à la rémunération de la main-d'œuvre extérieure et éventuellement aux impôts dont doit s'acquitter l'exploitant. Il permet d'approcher la marge de manœuvre de l'exploitant pour faire face aux besoins essentiels de sa famille, mais aussi assurer le renouvellement et la pérennité de son appareil de production.

La VAN et le revenu sont ensuite analysés en référence aux moyens mobilisés pour produire, à la taille de l'exploitation (valorisation de la main d'œuvre active, couverture des besoins nutritionnels de la famille) mais aussi en référence au mode de conduite (coût de l'alimentation achetée, autonomie de l'exploitation en matière de stocks, valorisation du foncier par rapport aux cultures, etc.). Le développement d'une production animale dépend de la rentabilité socioéconomique de l'activité par rapport aux autres opportunités dans la zone. Dès lors le choix du ratio pour exprimer un indicateur de performance (VAN par unité) dépend de la situation de l'exploitation c'est-à-dire de ses facteurs limitants propres. On réalise ainsi le calcul :

- > à la vache présente, s'il s'agit d'un éleveur ayant une installation fixe qu'il ne peut pas modifier, voire une quantité fixe de travail à consacrer au troupeau ;
- > à l'hectare de surface fourragère, si l'éleveur a une forte contrainte foncière ou si le terroir est saturé ;
- > à l'unité de main-d'œuvre mobilisée, pour les petites exploitations familiales. On peut être amené à se focaliser sur certaines périodes où sont cumulées activités agricoles et d'élevage ;
- > par rapport au capital disponible, lorsque peu de crédits sont disponibles dans la zone, si le cheptel est cher, etc.
- > à l'unité de produit (kilo de lait ou de viande).

Tableau 8. Récapitulatif des éléments de calcul pour un atelier de production animale et une exploitation agricole

Niveau considéré	Élément du calcul
Atelier	Produits (Pt) Vente + cession + autoconsommation - achat de lait et de produits laitiers, d'animaux vivants ou de viande, d'œufs, de fumier... Subventions/aides liées directement à l'élevage Variation d'inventaire de tous les animaux
	Consommations intermédiaires (CIt) Frais fixes et variables des surfaces fourragères rattachées à l'atelier (engrais, semences, produits de traitement, de conservation ou transformation après récolte, etc.) Achat et cessions internes d'aliments et compléments (minéraux et vitamines) Achat de petits matériels + entretien et réparation du matériel spécifique Produits vétérinaires et honoraires + Frais d'élevage (saillies, contrôle) Produits de nettoyage Energie, eau... Cotisation à un groupement, association
	Amortissements (Am _i) Bâtiments propres à l'activité (hangar, parc, couloir) Matériel spécifique (vélo pour le transport du lait) Animaux reproducteurs (vaches laitières et taureaux si non renouvelés sur l'exploitation)
	$VAN_i = P_i - C_i - Am_i$
	Exploitation
	$VAN_e = VAN_i - CI \text{ non affectées à un atelier} - Am \text{ non affectées à un atelier}$
	Rémunération des facteurs de production dont l'exploitant n'est pas propriétaire (RemFP) – fermage ou autres forme de rémunération du foncier emprunté – rémunération du capital (intérêts d'emprunts + rémunération du propriétaire des animaux confiés) Rémunération de la main-d'œuvre externe (RemMO) Impôts et taxes sur la production (IT)
	$Revenu = VAN_e - RemFP - RemMO - IT$

Note: au niveau d'un atelier de production, on utilise également couramment la notion de marge brute: la marge brute est calculée en déduisant de la valeur ajoutée brute de l'atelier la rémunération du travail extérieur et du foncier et du capital empruntés pour réaliser l'activité :
(MBt = VAB_i - RemFP_i - RemMO_i - IT_i).

● Les fonctions prioritaires des troupeaux pour les éleveurs

L'analyse économique d'un système d'élevage a beaucoup plus de sens dans une situation de forte monétarisation des produits de l'élevage que dans un système d'élevage où la vente des produits de l'élevage est secondaire par rapport à d'autres fonctions. À l'intérieur d'une exploitation, la gestion du bétail capital (gros ruminants) ne peut pas être raisonnée de la même manière que la gestion du bétail porte-monnaie (petits ruminants).

Il est donc essentiel de baser tout raisonnement de gestion de l'élevage sur les fonctions essentielles attribuées aux troupeaux par les éleveurs. Lorsque la fonction de production régulière (directe ou indirecte) d'un revenu monétaire est clairement assignée à un système d'élevage, les notions de budget et de chiffrage des valeurs monétaires des services prennent toute leur valeur, et des cahiers pratiques de relevés des données économiques peuvent être présentés et introduits comme outils d'amélioration des performances zootechniques et économiques.

Bibliographie

- Cahiers de la recherche-développement, CIRAD, numéros spéciaux « *Relations agriculture-élevage* » n°7, 1985 et n° 9-10, 1986.
- DELGADO C. et al., 1999. *L'élevage d'ici 2020 : la prochaine révolution alimentaire*. IFPRI, FAO, ILRI, 82 p.
- DFID, NRI, 1999. *Decisions tools for sustainable development*. The University of Greenwich. 267 p.
- LHOSTE PH., 1986. *L'association agriculture-élevage : évolution du système agropastoral au Sine-Saloum, Sénégal*. Thèse INA-PG, Paris. Maisons-Alfort, France, Etudes et synthèses de l'EMVT, 21, 314 p.
- LHOSTE PH., DOLLÉ V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. *Zootchnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage*. CIRAD/Ministère de la Coopération, Paris, France, Coll. «Manuels et précis d'élevage», 288 p.
- ROELEVELD A.C.W., VAN DEN BROEK A. (Eds), 1996. *Focusing livestock systems research*. Royal Tropical Institute, The Netherlands, 151 p.
- STEINFELD H. and MAKI-HOKKONEN, 1995. *A classification of livestock production systems*. World Animal Review, 84/85 1995 / 3-4, 83-94.

Le diagnostic des systèmes d'alimentation

À partir des contributions de D. Bastianelli (CIRAD),
V. Blanfort (CIRAD), H. Guerin (CIRAD)¹, J. Huguenin (CIRAD),
A. Ickowicz (CIRAD), H.D. Klein (CIRAD), P. Lecomte (CIRAD),
P. Lhoste (CIRAD), G. Rippstein (CIRAD)

Le système d'alimentation est constitué par :

- > l'ensemble des ressources alimentaires disponibles ;
- > les pratiques d'alimentation ;
- > les connaissances mobilisées et les stratégies utilisées par les éleveurs pour couvrir les besoins alimentaires des animaux.

Les flux d'aliments et de matières organiques sont des éléments essentiels de caractérisation des systèmes d'alimentation. Ils interagissent fortement avec les autres composantes de la production agricole et agro-industrielle et avec l'équilibre des ressources naturelles.

L'essentiel des caractéristiques d'un système d'élevage est lié à celles du système d'alimentation. Le diagnostic du système d'alimentation fournit ainsi les principaux indicateurs du niveau d'intensification du système d'élevage concerné. L'intensification de l'élevage, quel que soit son niveau, passe en premier lieu par celle du système d'alimentation. Quelle que soit l'échelle d'intervention, il est donc essentiel d'aborder le développement de l'élevage en s'intéressant en priorité au diagnostic des systèmes d'alimentation.

Le plus souvent un cheptel donné utilise plusieurs types de ressources alimentaires et leur mode de gestion est en étroite relation avec le niveau d'intensification. Une typologie sommaire des systèmes d'alimentation peut ainsi être réalisée en s'appuyant sur les principales catégories de ressources utilisées, ainsi que sur le contexte agro-climatique dans lequel elles sont produites.

On distingue, en premier lieu, les ressources fourragères composées d'herbes vertes ou conservées, de pailles, de résidus de récolte, d'arbres et d'arbustes et, en second lieu, celles qui sont issues de la transformation domestique, artisanale ou industrielle des productions agricoles, dénommées génériquement sous-produits agro-industriels (SPAI). Les ressources fourragères sont soit naturelles et spontanées – cas des parcours naturels et des jachères –, soit cultivées. Il s'agit alors de graminées ou de légumineuses prairiales, de crucifères ou de céréales annuelles exploitées par pâturage, en fauche avec distribution aux animaux en stabulation, en vert ou après conservation. Plusieurs de ces fourrages peuvent participer simultanément à la ration de base des

¹ Coordination de la rédaction de ce chapitre : Hubert Guérin.

ruminants. Leur importance relative, leur mode de gestion, leurs interactions avec le milieu et avec les autres composantes des systèmes de production sont les éléments de description du système fourrager.

On peut ainsi distinguer les élevages sur parcours utilisant plusieurs types de ressources sur des espaces ouverts, souvent gérés collectivement dénommés ici *systèmes agro-sylvo-pastoraux* et les élevages sur prairies, le plus souvent cultivées et clôturées, qualifiés de systèmes prairiaux ou herbagers. Dans le cas des ruminants, les SPAI interviennent principalement pour la complémentation du système fourrager ; dans les systèmes les plus intensifs, ils peuvent toutefois participer à un véritable rationnement et constituer alors jusqu'à 50 à 60 % des rations ingérées en stabulation. En revanche, les rations des monogastriques sont composées quasi exclusivement de SPAI.

Les démarches de diagnostic proposées ici ont pour objectif la gestion des systèmes alimentaires. Il est donc essentiel qu'elles soient appliquées à des échelles correspondant à des unités de gestion et des centres de décision qu'il convient d'identifier.

LA DÉMARCHE GÉNÉRALE DE DIAGNOSTIC

Quel que soit le système d'élevage, le diagnostic a pour finalité d'apprécier l'adéquation entre les apports alimentaires et les besoins quantitatifs et qualitatifs du cheptel.

● *Le bilan quantitatif et qualitatif*

C'est une démarche pratiquée de longue date qui consiste à faire l'inventaire, d'une part, des ressources produites (au niveau individuel ou collectif) ou disponibles sur le marché et, d'autre part, de celles nécessaires pour réaliser les objectifs de production d'un cheptel donné.

Cette démarche analytique a le mérite d'être rigoureuse dans son principe mais elle se heurte à plusieurs difficultés :

- > les données sur les ressources alimentaires nécessaires au calcul du bilan cumulent et combinent les imprécisions relatives aux rendements, au taux de prélèvement, à la valeur nutritive, à l'ingestion des nutriments et à leur utilisation digestive et métabolique. Elles sont donc trop imprécises en particulier dans les systèmes les plus extensifs et dans l'ensemble des systèmes pâturés où l'ingestion et donc les apports nutritionnels sont difficiles à évaluer ;
- > à chacune d'elles doit être attachée une notion de risque, en particulier climatique ;
- > le calcul du bilan annuel ou saisonnier prend difficilement en compte la capacité des animaux à compenser l'indisponibilité en ressources alimentaires. Ils le font par la mobilisation des réserves corporelles, par des changements de comportement alimentaire et par la mobilité spatiale.

Finalement les diagnostics basés exclusivement sur des bilans quantitatifs permettent de définir ou d'expliquer des situations d'excédents ou de crises alimentaires caractérisées. Ils sont, en revanche, peu opérants pour identifier des contraintes et sub-contraintes qui affectent la productivité ou la pérennité à long terme des systèmes à faible productivité. Il est donc recommandé de réserver les mesures, estimations, calculs etc. pour un approfondissement analytique de contraintes alimentaires préalablement identifiées par un premier diagnostic systémique de l'alimentation animale.

Tableau 1. Quelques indicateurs de déséquilibre du bilan fourrager

Indicateurs liés à la ressource ¹	Indicateurs liés à l'animal	Indicateurs liés à la conduite des troupeaux
<ul style="list-style-type: none"> • surpâturage des plantes herbacées des bas-fonds, des graminées pérennes • surbrouillage de certaines espèces ligneuses ou élagages abusifs • épuisement des stocks de fourrage de réserve en saison sèche 	<ul style="list-style-type: none"> • appétit non satisfait : quête permanente d'aliment durant le temps de séjour au pâturage • pica • état corporel des animaux : variations suivant calendrier fourrager et saisons entraînant des effets sur la mortalité (des jeunes en particulier), sur l'état sanitaire et sur les productions (croissance, lait, travail) 	<ul style="list-style-type: none"> • déplacement des animaux • déstockage d'urgence (lié aussi aux besoins monétaires) • acquisition d'aliments de survie

¹ Sur la base du calendrier d'utilisation des ressources par le cheptel.

Tableau 2. Paramètres végétaux et animaux du bilan fourrager

VÉGÉTAL		ANIMAL	
Quantité Évaluation des biomasses	Qualité Valeur alimentaire	Besoins globaux liés à la charge globale	Besoins spécifiques par types d'animaux
I - Estimation des productions et évaluation de l'accessibilité : – surfaces cultivées en céréales, en légumineuses, etc. – jachères, – pâturages naturels de plateaux, de bas-fonds, • par cartographie des unités topographiques et de végétation, • par estimation des surfaces et des rendements, en distinguant herbes et ligneux.	I - D'après la connaissance des catégories de fourrage et – pour les herbes, d'après leurs dominantes botaniques (graminées, légumineuses...) – pour les ligneux, les proportions des espèces	I - Charge globale en UBT en distinguant au minimum – animaux sédentaires/stabulés – transhumants/mobiles	I - Suivant la répartition du cheptel par espèces, catégories, classes d'âge et d'après les productions (reproduction, lait, embouche, travail)
II - Analyse des pratiques de récolte et de stockage et évaluation des quantités de fourrage récoltées : herbes (en vert, en foin), pailles de céréales, fanes de légumineuses, rameaux de ligneux, gousses	II - Pour chaque groupe : – appétibilité – valeur énergétique – valeur azotée – valeur minérale	II - Variations saisonnières des effectifs	II - Suivant les variations saisonnières des besoins individuels de chaque groupe
III - Analyse des exportations de fourrage : fanes, gousses, pailles, etc.	III - Variations saisonnières de ces critères		
IV - Description du calendrier fourrager			

● Le diagnostic systémique

Il comprend deux éléments : l'analyse structurelle du cheptel et des ressources ; et l'analyse du fonctionnement du système d'alimentation.

● L'analyse structurelle

Ce premier niveau d'analyse s'intéresse aux effectifs et à la structure du troupeau, ainsi qu'à la répartition spatiale et saisonnière des principaux types d'aliments. Il permet de déterminer les principaux paramètres de pression animale sur le milieu et sur les ressources : surface disponible par unité de bétail, biomasse végétale moyenne théoriquement disponible par unité de bétail. Ces paramètres comparés à des références régionales ou issues de régions agro-climatiques équivalentes, permettent de caractériser sommairement la tension sur les ressources. De même, l'évaluation des sous produits d'une agro-industrie ou d'une production agricole destinée à l'élevage permet d'estimer le potentiel de complémentation. Ces indicateurs n'ont pas de portée opérationnelle : ils permettent seulement de situer les éléments du système d'alimentation dont il sera nécessaire de diagnostiquer le fonctionnement.

● L'analyse du fonctionnement du système d'alimentation

Elle repose sur :

- > l'identification d'unités de gestion des ressources et des animaux ;
- > la caractérisation des pratiques de gestion des ressources ;
- > la recherche d'indicateurs traduisant soit des excédents mobilisables pour accroître les productions ou au contraire des contraintes affectant la productivité ou la survie même du cheptel. Les indicateurs peuvent exprimer des déséquilibres permanents ou conjoncturels. Dans le deuxième cas, les gestionnaires des ressources peuvent mettre en œuvre des pratiques correctives qu'il convient aussi d'identifier ;
- > l'approche analytique enfin, sous forme de bilans effectués sur les éléments les plus contraints, par exemple les périodes de soudure alimentaire, les surfaces surpâturées, le début de lactation chez la vache laitière, l'équilibre énergétique et azoté des rations etc.

Cette analyse permet d'évaluer de manière précise les contraintes et leurs conséquences, afin de proposer des innovations susceptibles d'en atténuer voire d'en annuler les effets ou de répondre à une demande d'intensification des productions.

Il est indispensable de donner une dimension temporelle et spatiale aux diagnostics. Cette démarche peut en effet être définie pour différentes échelles d'espace, qui vont du pays ou de la région naturelle à l'exploitation ou même au lot d'animaux en passant par le bassin de production, et pour des échelles de temps qui vont de la saison à la décennie :

- > la prise en compte des complémentarités régionales, notamment pour l'analyse des systèmes pastoraux et agropastoraux, est essentielle. Cette échelle régionale est celle des systèmes fourragers pastoraux, mais elle déborde le plus souvent l'échelle adoptée dans le cadre des politiques de décentralisation. L'autorité donnée au pouvoir local sur la gestion des ressources renouvelables, d'inspiration agricole, peut alors entraver les négociations nécessaires aux déplacements des éleveurs ;
- > les systèmes fourragers doivent être analysés en fonction des saisons (découpage traditionnel du temps). Leurs caractéristiques structurelles et leur fonctionnement sont très contrastés à l'intérieur de l'année ;

> L'accumulation au sein des exploitations se réalise sur un pas de temps pluriannuel, rythmé par les évolutions climatiques. Les dynamiques démographiques et foncières influent sur de nombreux éléments des systèmes d'alimentation et évoluent sur le même pas de temps, abordable par des enquêtes sur les trajectoires d'évolution des exploitations, qui permettent également de caractériser les dynamiques d'intensification ou d'extensification.

Ces démarches de diagnostic peuvent utilement faire appel aux systèmes d'information géographique (SIG).

L'ALIMENTATION DES RUMINANTS SUR PARCOURS AGRO-SYLVO-PASTORAUX

● *Les caractères généraux*

Ces systèmes correspondent pour la plupart à des formes d'élevage traditionnel exploitant principalement des parcours collectifs. Elles ont en commun d'être basées sur des ressources qualitativement et quantitativement très contrastées selon les saisons, les conditions topographiques et édaphiques et les activités agricoles.

Les éleveurs et leur cheptel tirent parti de cette diversité par la mobilité et un comportement sélectif par rapport aux ressources. Partout le développement démographique, la capitalisation sous forme de cheptel et la diversification des activités accentuent la pression sur le foncier et sur les ressources fourragères, entraînant finalement une réduction de la mobilité des éleveurs et de leurs animaux.

● *Les échelles de diagnostic*

La gestion de la mobilité, condition essentielle de la durabilité de ces systèmes d'élevage, nécessite de connaître les potentialités d'alimentation du cheptel à différentes échelles d'unités territoriales. Il faut favoriser les modes d'utilisation des ressources adaptés aux conditions du milieu biophysique, aux modes de vie des populations ainsi qu'aux objectifs des producteurs, éleveurs ou agro-éleveurs.

Que le diagnostic porte sur un groupe d'animaux d'une exploitation, par exemple les animaux de trait ou les vaches en lactation, ou sur les activités pratiquées par un groupe social présent dans une région, il est nécessaire de caractériser par emboîtements successifs les différents systèmes qui les englobent ainsi que les systèmes concurrents qui exploitent les mêmes ressources. Par exemple, le diagnostic de l'alimentation des animaux de trait nécessite une compréhension minimale des systèmes d'élevage, du cheptel, de l'exploitation, voire du village. De même, le diagnostic du système fourrager d'un groupe nomade nécessite une compréhension des contraintes, objectifs et stratégies de l'ensemble des acteurs des systèmes de production de tous les territoires fréquentés par ce groupe².

² Le nomadisme est ici distingué de la transhumance par le caractère plus aléatoire des déplacements. Le transhumant a un calendrier et des itinéraires réguliers déterminés par les cycles de disponibilité des ressources sur des territoires prédéterminés. Il peut y conduire d'autres activités, notamment agricoles, sur des terrains pour lesquels il détient un droit d'usage stable. Le nomade décide de ses déplacements en fonction des opportunités de pâturage, ses activités annexes sont soumises à l'accueil des populations sédentaires.

La première étape consiste donc à procéder à un zonage des différents systèmes en interaction, en définissant les descripteurs minimaux correspondants à l'échelle du diagnostic :

● Le pays

À l'échelle d'un pays, on peut distinguer des espaces sylvo-pastoraux à dominante élevage, des régions agricoles irriguées ou non, des zones urbanisées. Les indicateurs qui permettent de décrire ces grands ensembles sont d'ordre climatique (pluviosité, durée de saison sèche), topographique (altitude), édaphique (nature et fertilité du sol), démographique (densités humaines et animales), de risque sanitaire, etc. Il est utile de caractériser les gradients au niveau régional pour adapter les recommandations. Ces ensembles de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres de rayon permettent de caractériser des équilibres interrégionaux. Ils servent aussi de base à des généralisations ou des transferts de références obtenues à d'autres échelles. Un système d'élevage peut utiliser un seul de ces ensembles ou plusieurs s'il pratique une transhumance ou un nomadisme de grande amplitude.

● La région

L'unité régionale agro-éco-climatique, est le niveau correspondant :

- > soit à un ensemble homogène de ressources exploitées par un ou plusieurs systèmes d'élevage : par exemple un ensemble de terroirs agro-sylvo-pastoraux dont les ressources en eau et en fourrages sont suffisamment abondantes et constantes pour que le cheptel y soit maintenu à longueur d'année ;
- > soit à la juxtaposition de plusieurs ensembles territoriaux distincts participant à l'alimentation d'un ou plusieurs systèmes d'élevage : c'est le cas dans les régions de front pionnier agricole, dans les régions d'élevage centrées sur des systèmes irrigués ou de décrue, sur les axes de transhumance correspondant à des gradients pluviométriques ou encore en zone montagneuse où les gradients altitudinaux déterminent les déplacements d'une partie des troupeaux ainsi que les types d'élevage (espèces, niveau d'intensification).

Les dimensions de ces ensembles peuvent, comme la zonation nationale, être de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres mais elles se distinguent des premières par le fait qu'elles représentent des unités d'exploitation ou de gestion de groupes humains homogènes ou organisés.

● Le terroir

Cette échelle détermine le calendrier fourrager d'un ensemble de troupeaux qui l'exploitent en permanence ou de façon saisonnière. C'est aussi à cette échelle que se constitue la ration journalière du cheptel, somme de repas constitués sur les différentes catégories de ressources. Tout comme à l'échelle régionale, le terroir est un lieu de compétition entre surfaces cultivées, terres en jachères et parcours sylvo-pastoraux, au détriment de ces derniers, jusqu'aux limites d'extension possible des surfaces cultivées. Cette compétition concerne également l'utilisation agricole ou pastorale des bas-fonds humides.

Pour un équilibre donné entre surfaces cultivées et pastorales, le terroir peut-être caractérisé par ses productions et ses flux de biomasses, lesquels sont fonction des différents types de cultures, de la gestion des résidus de récolte, des charges animales et des déplacements des troupeaux. La mise en culture de nouvelles terres sous la pression démographique est accentuée par les mouvements migratoires, et les troupeaux sédentaires et transhumants peuvent être en compétition pour l'utilisation d'un même espace.

● L'exploitation

L'échelle de l'exploitation ne correspond pas forcément à une unité de gestion des animaux et il vaut mieux se référer à celle du troupeau qui peut regrouper les animaux de plusieurs propriétaires. Elle bénéficie d'une homogénéité de gestion même si certains groupes d'animaux (de traction, en lactation, en embouche, jeunes etc.) font l'objet d'une alimentation particulière. Quand l'exploitation agricole coïncide avec l'unité de gestion du cheptel, il est possible de réserver au troupeau tout ou partie de la production fourragère issue des activités agricoles. L'échelle de gestion des ressources fourragères est alors le parcellaire de l'exploitation : utilisation des résidus de récolte des produits vivriers, petites soles fourragères.

● Les objectifs du diagnostic

Pour chacune de ces échelles il est nécessaire de définir les objectifs du diagnostic avant d'aborder les méthodes à mettre en œuvre. Les diagnostics visent à définir, à partir de l'identification des contraintes zootechniques, agricoles et environnementales, des modalités de gestion des ressources, d'accroissement qualitatif et quantitatif de leur disponibilité et d'aménagement des terroirs. En voici quelques exemples.

● Au niveau national et régional

La création d'infrastructures routières dans des régions agricoles permet la collecte commerciale de productions agricoles ou animales (lait). Ces productions peuvent interférer avec des activités pastorales traditionnelles et sont créatrices de compétitions par rapport à l'espace et aux ressources. Dans le cas de la création d'un marché à bétail ou d'un bassin de collecte laitière, il est nécessaire d'évaluer le potentiel fourrager au niveau régional.

La mise en culture progressive de toutes les terres ayant un potentiel agricole rompt les axes traditionnels de transhumance. Or, la mobilité est le principal facteur de sécurité des élevages des zones arides et sub-humides. Sur la base d'une caractérisation minimale des ressources fourragères, il est donc indispensable de définir, avec l'ensemble des usagers, des axes et des règles de déplacement du cheptel compatibles avec un développement agricole en général irréversible.

La sécurité de l'élevage pastoral repose aussi sur la gestion équilibrée des ressources fourragères et hydriques. Les aménagements d'hydraulique pastorale doivent donc être répartis et dimensionnés en fonction des potentialités fourragères et des risques de leur dégradation.

● **Au niveau du terroir**

La nécessité d'organiser la gestion des ressources fourragères s'accroît lorsque la pression foncière devient plus contraignante. Elle est parfois traditionnelle comme dans certains villages du Fouta Djallon en Guinée, où le terroir est divisé en deux parties alternativement cultivées ou en jachère pâturée. Certains projets ont parfois suscité des décisions collectives de mise en défens de parcours de bas-fonds menacés de dégradation (au Sénégal oriental par exemple), des règles d'accueil des transhumants, etc.

Les réformes administratives pour décentraliser au niveau des autorités locales la réglementation foncière et le développement des groupements d'éleveurs devraient faciliter la responsabilisation et la concertation entre acteurs sur l'accès au pâturage, la gestion des résidus de culture, etc. Ces mesures et le suivi de leur impact peuvent être facilitées par un diagnostic préalable du système fourrager à l'échelle du terroir.

● **Au niveau du troupeau ou de l'exploitation**

Les objectifs de gestion du système fourrager sont directement attachés à des objectifs zootechniques ou d'amélioration de la fertilité des sols (cas des systèmes recourant au semis direct sur couverture végétale). Leur réalisation est en premier lieu conditionnée par l'organisation collective et la possibilité, socialement reconnue, de se réserver l'exploitation des résidus de récolte, de procéder à des aménagements fourragers ou agro-forestiers et de les gérer privativement. Cela suppose un contrôle au moins partiel de la divagation du cheptel.

Sur le plan strictement zootechnique, le choix et le dimensionnement du stockage des fourrages ou la mise en place d'une culture fourragère d'appoint nécessitent de définir les périodes et les niveaux de déficit fourrager ainsi que les objectifs d'entretien et de production du cheptel. À cette échelle, le diagnostic du système d'alimentation justifie une démarche de bilan quantitatif et qualitatif.

● **Les méthodes de diagnostic**

● **Au niveau national et régional**

Dans le contexte des zones arides, il est nécessaire de toujours relier les ressources fourragères et les ressources en eau. C'est bien là d'ailleurs l'équation que cherchent à résoudre les éleveurs, quelle que soit la saison. D'un point de vue purement zootechnique, il faut s'intéresser conjointement à la répartition spatiale et temporelle des deux ressources pour bien comprendre le système d'alimentation.

Les documents utilisés classiquement sont les cartes agroclimatiques, démographiques et économiques, et plus spécifiquement les cartes hydrologiques (cours d'eau, points d'eau permanents ou temporaires, puits pastoraux) et la carte des zones de risques sanitaires. À cette représentation spatiale, on associe les statistiques administratives et agricoles de la région concernée.

L'expertise écrite et orale permet de décrire les aspects socio-économiques ainsi que les systèmes de production. Au besoin, des enquêtes complémentaires peuvent être effectuées pour mieux connaître les ressources, les systèmes de production ainsi que les marchés et les filières.

Ces éléments permettent d'effectuer :

- > des zonages correspondant aux gradients de production, de potentiel et de risque sanitaire ou alimentaire ;
- > la caractérisation des bilans et des flux interrégionaux de cheptel, d'aliments et de production ;
- > la localisation des différents systèmes de mise en valeur et des zones d'interaction entre systèmes ;
- > la définition des domaines de compétition, de conflits, de complémentarité, et les flux d'échanges interrégionaux.

Dans le cas d'une petite région, il faut disposer, en plus, d'éléments permettant de cartographier les principales unités de végétation et leur productivité ainsi que l'occupation saisonnière de l'espace par les activités agricoles et d'élevage.

La réalisation d'enquêtes sur les dynamiques sociales et organisationnelles permet d'identifier des zones à forts enjeux sociaux sur les ressources, correspondant souvent à des zones à fort potentiel de mise en valeur et d'intensification.

Ces éléments permettent d'identifier des terroirs et des filières caractéristiques des situations rencontrées au niveau régional et de définir les enjeux prioritaires en matière d'alimentation animale.

● Au niveau d'un terroir

Dans le cas d'un terroir correspondant à l'aire annuelle ou saisonnière de parcours d'un cheptel, l'analyse fine des ressources naturelles et des activités agricoles s'appuie, en plus de ce qui précède, sur les cartes morphopédologiques et de végétation. Elle utilise le traitement de photos aériennes et d'images satellite ainsi que les données caractérisant la mise en valeur du territoire (exemple : surface cultivée par saison) et, sur le plan zootechnique, les effectifs, les charges et la structure des troupeaux. Ces éléments doivent être connus sur plusieurs saisons et années afin d'établir le calendrier d'utilisation des ressources et de caractériser leur dynamique d'utilisation.

La mise en place de suivis de troupeaux permet d'identifier les mouvements journaliers et saisonniers des animaux, l'emplacement des campements et points d'eau, les régimes alimentaires, le nombre d'animaux pâturant par unité de surface, la pression de pâturage (rapport entre biomasse animale et biomasse végétale), le besoin théorique en fourrages rapporté à la biomasse disponible, etc.

De manière synthétique on cherche également à établir les indicateurs de productivité globale et saisonnière (reproduction, croissance, mortalité, note d'état corporel, état sanitaire, lactation) ainsi que ceux permettant de caractériser les déficits fourragers globaux et saisonniers.

Ces différentes approches permettent :

- > d'identifier les ressources surexploitées ou celles présentant un potentiel de gestion ou d'intensification, en incluant les systèmes de culture vivriers et leur dynamique ;
- > de préciser le potentiel fourrager et de fixer les limites d'accroissement du cheptel en fonction de différents schémas d'intensification ;
- > de définir les besoins de complémentarité alimentaire ou d'intensification fourragère, en fonction des hypothèses d'intensification.

● Au niveau des exploitations ou des lots d'animaux

Dans le cas des exploitations utilisant des animaux de traction, élevant des bovins laitiers, ou pratiquant l'embouche, on s'intéresse au diagnostic du système fourrager et de ses effets sur les rations ingérées, sur l'état sanitaire et nutritionnel des animaux et sur les productions. L'étude aboutit en général à des propositions de complémentation ou d'alimentation en stabulation.

Conclusion

Le tableau suivant résume les principales échelles du diagnostic et les types de propositions correspondantes.

Tableau 3. Echelles d'application et niveaux de décision relatifs au bilan fourrager

Echelle	Type de propositions	Niveau décisionnel
exploitation	pâturage réservé des résidus de récolte pour le troupeau de l'exploitation stockage des résidus de récolte cultures fourragères aménagement agroforestier	exploitant agro-éleveur
terroir	calendrier de pâturage mises en défens organisation de jachères accueil transhumant gestion des points d'abreuvement	gestion collective des ressources
au niveau régional	hydraulique pastorale mesures sanitaires appui à l'organisation des marchés à bétail	administration et organisation de producteurs

LES SYSTÈMES PRAIRIAUX

● Leurs caractères généraux

Les prairies sont des formations herbeuses (généralement dépourvues de ligneux), composées de graminées éventuellement associées à des légumineuses herbacées. Elles servent essentiellement à l'alimentation des herbivores, peuvent être naturelles ou implantées, pâturées ou fauchées pour fabriquer des réserves de fourrage ou pour une alimentation en «zéro pâturage».

Selon la technicité mise en œuvre, on distingue :

- > *des systèmes intensifs*, ensembles finis de parcelles clôturées, en majorité implantées, les clôtures permettant de mettre en place un système de rotation, et de séparer des catégories d'animaux en constituant plusieurs troupeaux (exemples : Réunion, Guyane) ;
- > *des systèmes semi-intensifs*, avec des parcelles fourragères implantées mais également des parcours de prairies naturelles, chaque parcelle étant clôturée en périphérie pour délimiter la propriété ;

- > *des systèmes extensifs* à base de parcours naturels, généralement clôturés en périphérie pour délimiter la propriété et sans division interne (exemple : la pampa en Argentine).

● **Les échelles de diagnostic**

Les échelles d'analyse des systèmes prairiaux peuvent être très diverses :

- > la plante, avec sa structure et sa physiologie ;
- > la population végétale, observée sur une station écologique ;
- > la parcelle, unité fonctionnelle où convergent processus biologiques et techniques ;
- > les îlots de pâturages (ensemble de parcelles pâturées par un même lot d'animaux) ;
- > l'exploitation, cadre opérationnel d'élaboration et d'application des outils de diagnostic prairiaux ;
- > le terroir et le territoire, dans une moindre mesure.

Le diagnostic a pour objectif la gestion des systèmes alimentaires ; il est donc essentiel qu'il soit réalisé à des échelles correspondant à des unités de gestion et des centres de décision.

● **Le diagnostic des prairies**

La démarche repose sur la mise en relation d'indicateurs biologiques avec les pratiques des éleveurs. La modélisation de processus biologiques (par exemple, la simulation d'une croissance de repousse en fonction des données climatiques) permet l'établissement de référentiels bio-techniques. Les valeurs obtenues par ces modèles peuvent être comparées à des états observés dans les prairies et les écarts entre le modèle et l'observation sont ensuite reliés aux pratiques des éleveurs. Cette analyse des écarts constitue le diagnostic proprement dit.

L'état des prairies peut être apprécié selon différents critères (ou bio-indicateurs) : composition floristique, productivité et qualité de l'herbe sont sous la dépendance des pratiques des éleveurs (mode d'exploitation, fertilisation, entretien) et des paramètres du milieu (climat, sol). Il est donc important d'identifier les facteurs qu'il est possible ou non de modifier pour maîtriser la production et l'évolution d'une prairie.

Ces bio-indicateurs se mesurent à des pas de temps différents et répondent à différents objectifs de gestion du système fourrager.

● **La composition floristique**

La composition floristique est un indicateur d'évolution qui intègre les pratiques des éleveurs et les conditions écologiques. Ses variations s'observent sur un pas de temps annuel et permettent d'apprécier la dynamique des ressources fourragères (pérennité du pâturage). C'est une donnée qui tient compte de la présence et de l'abondance relative des espèces, et elle obtenue par la combinaison de l'approche phytosociologique et de l'approche agro-écologique.

L'approche phytosociologique repose sur :

- > la discrimination d'ensembles de végétations homogènes ;
- > une analyse synchronique capable d'identifier les interactions entre des facteurs naturels du milieu et des actions d'aménagement par l'homme ;
- > un échantillonnage à l'échelle de la station écologique.

L'approche agro-écologique repose sur :

- > un inventaire quantitatif de la flore. La méthode des relevés linéaires *points-quadrats* est particulièrement adaptée aux formations herbacées denses ;
- > la mise en relation de la dynamique de la flore avec des processus agronomiques de gestion à déroulement rapide, en interaction avec le milieu ;
- > un échantillonnage à l'échelle de la parcelle.

La dégradation d'une prairie se traduit par la diminution de l'offre fourragère, engendrée par l'envahissement par des adventices ou l'apparition de zones nues. Cet état peut être décrit par une grille de notation ou par des comptages qui permettent d'obtenir des contributions spécifiques.

● La productivité des prairies

La compréhension de la production et de l'utilisation de la biomasse passe par la quantification de l'offre d'herbe. Les éleveurs tiennent compte des disponibilités en herbe pour décider des affectations de parcelles. Pendant longtemps, on s'est efforcé d'évaluer et de mesurer la biomasse d'herbe par des mesures fastidieuses et onéreuses pour obtenir la précision nécessaire à des décisions de gestion. Des mesures plus faciles à mettre en œuvre, y compris par les agriculteurs eux-mêmes, sont expérimentées et diffusées : la hauteur d'herbe et le biovolume de l'herbe.

Dans des couverts relativement homogènes, la hauteur d'herbe est un indicateur de la croissance de l'herbe, intégrant les interactions entre l'herbe, son exploitation par les animaux et les pratiques de l'éleveur. Les mesures de hauteur d'herbe permettent, de façon synthétique et indirecte, d'apprécier une quantité de biomasse. C'est une méthode non destructrice et pouvant faire l'objet d'un échantillonnage important en rapport avec l'hétérogénéité des couverts prairiaux.

Les états de l'herbe doivent être considérés au niveau parcellaire (hauteur à l'entrée et à la sortie des animaux). La hauteur de l'herbe à la sortie va conditionner la repousse ; une hauteur résiduelle limitée après pâturage conduit à réduire les pertes par sénescence. La durée entre deux passages sur la même parcelle constitue un des ajustements possibles du système fourrager. La qualité de l'herbe offerte à l'entrée (appréciable indirectement par la hauteur d'herbe) dépend des paramètres précédents. De la hauteur de l'herbe à l'entrée d'une parcelle donnée va dépendre la qualité alimentaire du fourrage mis à la disposition des animaux.

L'analyse doit intégrer l'ensemble de la sole fourragère. Dans une exploitation, en effet, la somme des produits (hauteur d'herbe x surface), pour l'ensemble des parcelles, aboutit à un volume d'herbe (biovolume) disponible à différentes périodes de l'année que l'on rapporte au nombre d'animaux présents, exprimé en unité d'équivalents animaux (UGB, UBT, vache standard, kilo de poids).

Ce biovolume (exprimé par exemple en m³ par vache) traduit, par des mesures com-modes, la quantité d'herbe sur pied d'avance. C'est un indicateur pratique de la conduite du pâturage, dans le sens où la quantité disponible par animal fluctue en fonction du taux d'utilisation de la biomasse.

Cet indicateur, complémentaire de la notion de charge animale, permet d'apprécier quantitativement l'équilibre entre la demande en fourrage du troupeau et l'offre de l'ensemble des parcelles. L'ajustement de l'offre à la demande passe ensuite par des décisions d'ajout ou de retrait de parcelle de la surface en pâturage, lorsque les seuils de déséquilibre au niveau parcellaire sont atteints. Cela permet d'éviter de se retrouver en situation d'excès ou de pénurie d'herbe. Ces indicateurs permettent également de piloter la fertilisation en fonction des besoins en herbe et la distribution d'une complémentation.

L'analyse minérale d'un échantillon représentatif de la biomasse aérienne constitue un outil efficace de diagnostic de la fertilité à l'échelle de la parcelle. Il permet également de piloter la fertilisation en fonction d'objectifs de production d'herbe quantitatifs et qualitatifs. Le niveau de fertilisation (azotée en particulier) est, en effet, le facteur essentiel de la quantité de biomasse produite ; il permet de régulariser la production d'herbe sur des saisons contrastées.

● La qualité des fourrages disponibles et ingérés

La valeur nutritive d'une prairie peut être appréciée selon différents indicateurs :

- > l'âge des repousses en est un élément essentiel ;
- > la longueur moyenne des feuilles des graminées est également un bio-indicateur intéressant. Pour une espèce donnée, plus les feuilles sont longues, plus la valeur nutritive est faible ;
- > la structure du couvert herbacé fourrager : les pratiques de gestion et d'exploitation ont une incidence prépondérante sur la valeur des prairies, qui peut se "lire" par l'état de la structure du couvert herbacé fourrager. Les repousses sur des structures hautes sont moins riches que les repousses sur des structures basses. Par la lecture de la *macro-structure* du couvert herbacé, il est possible d'apprécier le type de prélèvement. Des *macro-structures* hétérogènes indiquent qu'il existe une mauvaise adéquation entre l'offre fourragère et la demande. Cela se rencontre fréquemment en situation de sous-pâturage. L'analyse de la structure est donc un moyen efficace pour évaluer le niveau de sous-pâturage ou de surpâturage d'une prairie ;
- > la variation du biovolume au cours d'un cycle de pâturage est un indicateur global qui intègre le lien entre hauteur d'herbe et digestibilité : une fréquence de passage élevée associée à des hauteurs d'herbe résiduelle faibles augmente la digestibilité de l'herbe offerte.

Pour que ces critères de gestion de l'herbe soient opérationnels, des seuils doivent être définis en fonction notamment de modèles de croissance des pâturages. Ces seuils caractérisent des compromis entre les intérêts de l'animal et ceux de l'herbe.

● Les indicateurs de déséquilibre

L'état d'équilibre dans l'utilisation d'une prairie peut être apprécié par des mesures ou observations de la structure du couvert herbacé fourrager. Les indicateurs à utiliser sont par exemple :

- > le développement relatif des feuilles et des tiges et l'importance relative des parties mortes et vivantes de la plante : tiges et organes morts traduisent le vieillissement et la sous-exploitation, tandis que l'abondance de feuilles et d'organes verts indiquent une bonne valeur nutritive. De fortes proportions de tiges et de matériels morts marquent un déséquilibre entre une croissance de l'herbe trop rapide et un niveau de prélèvement trop faible. Les proportions relatives de ces organes peuvent facilement être déterminées par la simple observation au champ ;
- > la densité horizontale et l'épaisseur du tapis. Les prairies peu denses et peu épaisses présentent d'importants risques d'envahissement par des adventices ;
- > la teinte du couvert traduit la teneur en protéines des graminées fourragères (l'élévation de la teneur fait évoluer la teinte du jaune au vert foncé).

● Le diagnostic des systèmes fourragers prairiaux

● L'analyse de la structure des exploitations

La caractérisation des exploitations agricoles se fait tout d'abord suivant la fonction qui est attribuée à l'élevage : fonction de production, diversification agricole, rémunération complémentaire pour les pluri-actifs, occupation foncière, rente, stratégie sociale, habitudes culturelles etc. Viennent ensuite les critères sur les caractéristiques structurelles de l'exploitation :

- > les différents types de surfaces : surface toujours en herbe (STH), surface totale ;
- > la taille du cheptel, le nombre de troupeaux ;
- > les équipements (notamment pour l'abreuvement), bâtiments, machines, pistes d'accès aux parcelles ;
- > les ressources humaines disponibles ;
- > l'appartenance à un groupe professionnel (formel ou non).

Ces données, essentiellement quantitatives, sont utilisées pour une caractérisation du fonctionnement global du système d'alimentation, mais ne permettent pas une analyse fine de son fonctionnement.

● L'analyse du fonctionnement des systèmes herbagers

La méthode d'analyse fonctionnelle à partir d'enquêtes en exploitations agricoles, adaptée aux contextes de l'élevage dans les pays du Sud, constitue un outil opérationnel de description et de diagnostic des systèmes d'alimentation basés sur le pâturage.

Elle repose sur l'étude des pratiques et des règles de décision mises en œuvre par les agriculteurs pour la conduite de l'alimentation de leurs animaux. Elle prend en compte l'ensemble des ressources alimentaires ingérées par les animaux, qu'elles soient pâturées ou distribuées.

Son principe est de caractériser la cohérence globale du système d'alimentation en définissant des séquences homogènes successives auxquelles sont rattachées des fonctions, dont certaines sont prépondérantes pour sa réussite.

Les séquences homogènes sont définies pour chaque lot d'animaux du troupeau et sont caractérisées par des éléments de conduite zootechnique (stade physiologique, état corporel de l'animal, productivité des vaches...) et des éléments de conduite des parcelles (état de l'herbe). Les bornes de chaque séquence d'alimentation sont déterminées par des changements du niveau de satisfaction des besoins alimentaires visé par l'éleveur, ou un changement dans la nature de la ressource alimentaire consommée par les animaux.

La méthode prend en compte les pratiques des éleveurs et intègre l'analyse de leurs choix. Ainsi, lors de certaines séquences, la couverture des besoins physiologiques des animaux ou l'expression du potentiel de production d'une parcelle ne sont pas atteints, car ils ne correspondent pas au niveau d'utilisation *optimum* pour le système, qui est soumis à de nombreuses contraintes (structure, économie, travail...).

● Les protocoles de recueil et de traitement de l'information

Le recueil de l'information est réalisé par enquêtes rétrospectives sur les pratiques et les critères de pilotage de l'éleveur pour conduire l'alimentation de son troupeau. La discussion est guidée et ordonnée par l'enquêteur sans qu'aucun enregistrement préalable des pratiques d'alimentation ne soit indispensable. Les données recueillies par cette méthode sont essentiellement qualitatives, dans la mesure où l'enquête est faite à posteriori et se base sur la mémoire de l'éleveur. Après analyse des données, une monographie décrit le fonctionnement du système d'alimentation par exploitation d'élevage.

Ce type de dispositif peut répondre à plusieurs objectifs :

- > analyser des zones pour lesquelles on dispose de peu de connaissances sur la structure et le fonctionnement des systèmes d'alimentation ;
- > mettre en œuvre des suivis afin de disposer de renseignements plus quantitatifs en zootechnie (reproduction, productivité des animaux...), en agronomie (productivité des surfaces...) et en économie ;
- > suivre les changements de stratégie et de pratiques dans des zones où les systèmes d'exploitation évoluent rapidement ;
- > recueillir des références en milieu paysan : à partir de l'analyse d'un grand nombre de cas, il est possible d'établir des références sur le fonctionnement des systèmes d'alimentation, utilisables dans un objectif d'appui technique aux éleveurs.

● L'amélioration des systèmes prairiaux

D'une manière générale, on constate des périodes critiques correspondant à des déséquilibres entre ressources fourragères et besoins des troupeaux. Ces déséquilibres sont le plus souvent liés à la non concordance entre les rythmes biologiques saisonniers des végétaux et des animaux. Les outils proposés doivent aider les éleveurs à atteindre un meilleur équilibre par une maîtrise accrue de la ressource herbacée tout au long de l'année. En saison des pluies, la forte croissance de l'herbe peut être contrôlée par des pratiques de chargement accru et de pâturage tournant visant à limiter les excédents

de biomasse. En saison sèche et froide le ralentissement de la croissance de l'herbe peut être compensé par une fertilisation minérale fractionnée (cf. le chapitre 433). Les principaux éléments de conduite du pâturage permettant de faire varier l'intensité d'utilisation de la biomasse sont :

- > la charge ;
- > le temps de repos, afin de favoriser la repousse des graminées ; on limite ainsi les risques de déficits fourragers nécessitant le recours à des apports alimentaires extérieurs coûteux ;
- > l'ajout et le retrait de parcelles au cours de l'année, autre élément de contrôle de la conduite du pâturage tournant ;
- > la fertilisation.

Des stratégies d'implantation et de gestion des pâturages peuvent finalement être construites en jouant sur les trois paramètres que sont la fertilisation, la conduite du pâturage et la charge.

● Une fertilisation raisonnée

En saison des pluies, l'utilisation d'engrais complets faiblement dosés en azote permet de recharger le sol en éléments minéraux sans accélérer de manière intempestive la production de biomasse. C'est en saison fraîche et souvent sèche qu'une nutrition azotée non limitante doit être recherchée pour compenser les effets dépressifs du climat sur la croissance de l'herbe. Des apports d'azote raisonnés, sous des formes facilitant son assimilation, se traduisent à cette période par des augmentations de rendement significatives (en dehors des périodes de gel ou de sécheresse exceptionnelles).

● La conduite du pâturage et les charges

En zone tropicale humide, les recommandations générales peuvent être proposées selon deux logiques :

- > une utilisation intensive de l'herbe *en flux tendu*, qui vise une utilisation de l'herbe suivant de près sa production. Elle permet l'obtention d'un fourrage de qualité en limitant les pertes par sénescence. Cette conduite nécessite cependant de fréquents ajustements (fertilisation, charge, rotation) pour maintenir la quantité et la qualité de l'herbe offerte, en dépit des fluctuations saisonnières de croissance ;
- > une gestion de type extensif et sécuritaire, qui conduit à une utilisation partielle de l'herbe avec des temps de repos longs ou une biomasse résiduelle importante en sortie de parcelle. Elle conduit généralement à une herbe de moindre qualité et à la présence de refus. Elle offre cependant l'avantage d'une conduite simplifiée et moins contraignante, avec des chargements plus faibles et la constitution de réserves sur pied permettant de répondre aux fluctuations de pousse par l'accroissement des surfaces.

Tout changement brusque du mode, de l'intensité et de la fréquence d'utilisation d'une prairie constitue une perturbation conduisant à une évolution de la composition botanique. Les nouvelles conditions peuvent parfois être favorables à l'établissement ou au rétablissement d'une flore de qualité. Une fois cet état atteint, il est alors souhaitable d'adopter des pratiques régulières.

Dans d'autres cas, un changement important risque de déplacer l'équilibre floristique vers des états non souhaitables (dégradation de la flore, voire envahissement définitif par des pestes végétales). Il importe donc bien de s'intéresser en permanence à l'évolution du couvert.

RAISONNER LA COMPLÉMENTATION

Complémenter ou supplémenter³ les animaux consiste à leur fournir un apport alimentaire qui améliore quantitativement ou qualitativement une ration de base constituée généralement de fourrages.

● *Les objectifs et les principes de la complémentation*

Avant d'aborder les étapes d'un diagnostic, il est nécessaire de rappeler les principaux objectifs, principes et types de complémentation :

- > la complémentation peut parfois être mise en œuvre de façon conjoncturelle pour assurer la survie du cheptel lors d'une année de sécheresse ou en fin de saison sèche si la période de soudure est difficile. Dans ce cas, il faut faire appel à des stocks de sécurité, rares, et le plus souvent à des approvisionnements d'urgence ;
- > le cas général est cependant une complémentation systématique dans le cadre d'une intensification raisonnée de l'élevage. Il s'agit alors de corriger des déficits nutritionnels extériorisés par des symptômes de carences (minérales le plus souvent), une mortalité excessive, des niveaux de production faibles par rapport au potentiel génétique du cheptel. On peut aussi viser une atténuation du caractère saisonnier de la production ;
- > ces corrections peuvent concerner soit des objectifs de court terme (par exemple la préparation à la fécondation, la production laitière ou la commercialisation des animaux), soit des objectifs de moyen et long terme s'il s'agit de préparer le cheptel de trait à une campagne agricole ou de préserver le potentiel de reproduction des femelles ;
- > au plan nutritionnel, plusieurs niveaux de complémentation peuvent être envisagés. Lorsque les fourrages sont abondants mais de faible qualité, la complémentation vise en premier lieu à couvrir les besoins spécifiques de la flore du rumen (azote fermentescible et minéraux, phosphore et soufre en priorité) pour optimiser la digestion microbienne et maximiser l'ingestion. Au-delà de ce premier niveau la complémentation est raisonnée en fonction d'objectifs qui vont du rétablissement d'un état corporel correspondant à un animal sain à la recherche d'une productivité proche du potentiel génétique. Le choix de l'objectif et du niveau de complémentation relève d'une analyse du fonctionnement technique et économique de l'exploitation. La mise au point d'outils de modélisation facilitera dans l'avenir la prise de décision dans ce domaine.

³ Ces deux termes sont synonymes.

● L'analyse de la complémentation

Cette analyse mobilise des informations concernant le cheptel, les ressources du système fourrager et leur mode d'utilisation, les stocks ou l'approvisionnement en aliments complémentaires, leur efficacité technique et économique.

Le diagnostic peut porter sur une pratique paysanne, sur une innovation diffusée par le développement ou sur un projet à valider *ex ante*. Dans les trois cas, le diagnostic doit prendre en compte les ressources fourragères qui constituent la ration de base, les aliments de complément accessibles, les modalités d'utilisation de ces aliments, les objectifs zootechniques et leur réalisation, ainsi que le calcul économique.

L'objectif zootechnique se situe entre la contrainte observée et sa levée complète (par exemple : mortalité des veaux sous la mère, inaptitude au travail) ou entre le niveau de performance actuel et le potentiel génétique de l'animal (par exemple : le gain quotidien moyen, la production laitière). L'impact zootechnique de la complémentation doit donc être examiné par rapport à des résultats attendus :

- > *à court terme*, dans le cas de l'exploitation programmée d'animaux pour la viande. Dans ce cas l'évaluation technico-économique de la complémentation s'appuie sur le coût des aliments de compléments, le travail supplémentaire, la valeur des produits animaux supplémentaires ou sauvegardés ;
- > *à moyen terme*, par exemple dans le cadre du raisonnement pluriannuel de la croissance (engraissement d'animaux destinés à la boucherie). Dans les régions à saison sèche marquée, la croissance des animaux est irrégulière. Certaines pratiques de complémentation visent à compenser la faible qualité des fourrages en saison sèche. Le gain de poids supplémentaire, en général significatif en fin de saison sèche, s'estompe voire s'annule dès la saison des pluies suivante. En effet, la croissance compensatrice, qui apparaît lorsque les conditions alimentaires de la ration fourragère de base s'améliorent, est nettement plus forte pour les animaux qui n'ont pas ou peu été complémentés en période sèche.
- > *à long terme*, dans le cadre, par exemple, de la gestion de la carrière de reproduction des femelles. En région tropicale, la carence en phosphore des fourrages est quasi systématique : les besoins des femelles en cet élément pour la gestation et la lactation sont importants et concurrents. Elles puisent donc dans leur squelette pour assurer la croissance du fœtus et surtout du jeune allaité. Après quelques cycles, les naissances s'espacent, les jeunes sont plus fragiles, les femelles elles-mêmes sont atteintes de troubles de la locomotion, ce qui compromet leur aptitude au travail. L'efficacité de la complémentation par le phosphore doit dans ce cas être examinée à l'échelle de la carrière des femelles et donc sur le long terme.

Les contraintes et les objectifs zootechniques étant définis, le diagnostic doit porter sur la ration fourragère de base ingérée au pâturage ou sur parcours. Ce diagnostic est celui du système fourrager. Il doit préciser les déficits quantitatifs et qualitatifs à combler pour atteindre les objectifs zootechniques et les marges de progrès dans l'utilisation des fourrages et autres aliments accessibles.

Deux principaux types de situations peuvent se présenter :

- > la ration de base est de l'herbe consommée au pâturage ou à l'auge dont la qualité, sans être uniforme ni constante, est relativement homogène. Le diagnostic consiste alors à évaluer la qualité de cette herbe telle qu'elle est effectivement ingérée par les animaux, les techniques d'alimentation permettant de maximiser les quantités consommées (durée effective de présence au pâturage, nombre de repas...), les pratiques de gestion de cette herbe pour déterminer si elle pourrait être mieux valorisée et les contraintes énergétiques azotées nécessaires à sa complémentation en regard des objectifs zootechniques ;
- > la ration de base est issue de parcours composites et des ressources de l'exploitation agricole. Dans ce cas, les ressources et leur qualité sont très variées et se complémentent naturellement au plan qualitatif, comme en témoignent les teneurs en azote des fourrages disponibles sur des parcours mixtes soudanais.

Tableau 4. Teneurs en matières azotées totales des fourrages disponibles en saison sèche

FOURRAGE	MATIÈRES AZOTÉES TOTALES EN G/KG DE MATIÈRE SÈCHE
pailles sur pied des parcours naturels et des jachères à dominance de graminées	30-50
pailles sur pied des parcours naturels et des jachères à dominance de légumineuses	60-90
repousses de graminées pérennes	60-150
pailles de céréales	30-40
feuilles de céréales	40-60
fanes de légumineuses	90-120
folioles de légumineuses	100-130
feuilles et fruits des ligneux fourragers	80-200

Le diagnostic doit alors établir le profit qui est fait de cette diversité et le progrès qui peut être attendu d'une meilleure gestion des ressources intégrant par exemple la mise en réserve des aliments les plus riches pour quelques animaux cibles (gousses d'acacia pour les femelles laitières par exemple), la conduite du troupeau sur des zones de parcours portant les ressources les plus nobles (exploitation par des camelins de parcours éloignés de légumineuses au Sahel), le stockage de fanes de légumineuses et le pâturage raisonné des bas-fonds.

Ces solutions mobilisent du travail supplémentaire, de l'organisation, assez souvent de la trésorerie : achat de fanes de légumineuses, droit de pacage, etc. L'achat de sous-produits agro-industriels (SPAI) ou artisanaux ne sera envisagé qu'après avoir épuisé les solutions qui ne demandent que du travail et de l'organisation. Le diagnostic doit alors porter sur leur disponibilité effective à l'échelle de l'exploitation, en général en faible quantité, ou sur le marché des aliments du bétail.

Le choix des animaux bénéficiaires est bien sûr d'autant plus ciblé que la disponibilité en SPAI est faible ; leur coût élevé conduit à les réserver aux animaux susceptibles de générer un profit à court terme (femelles laitières, moutons de Tabaski, bovins à l'engrais ou de traction). Il faut alors évaluer la disponibilité effective aux périodes d'utilisation prévues, l'organisation, la sécurisation et le coût des approvisionnements, les possibilités de stockage, la qualité de ces produits. La valeur nutritive est très variable, elle peut aller du simple au double, et les effets zootechniques varient en conséquence.

Tableau 5. Variabilité de la valeur nutritive de quelques sous-produits agro-industriels utilisés pour la complémentation et gains de productivité potentiels (compléments distribués à raison de 5 à 10 % des rations)

	UFL	MAD	Production laitière supplémentaire permise par kg de complément*	
			UFL	MAD
Fanes d'arachide	0,44 à 0,66	34 à 68	1 à 1,5	0,5 à 1,0
Graines de coton	0,7	170	1,5	3
Tourteau d'arachide	1,0	410	2,1	7
Tourteau de coton	0,8	360	1,9	6
Son de riz artisanal	0,5	50	1	0,8
Farine basse de riz	0,9	95	2	1,5

* Sur la base d'un besoin de 0,44 UFL et de 60 g de MAD par kilo de lait supplémentaire produit.

● *L'impact environnemental de la complémentation*

Le diagnostic des pratiques de complémentation doit clairement s'appuyer sur les trois éléments suivants : objectifs zootechniques, ration de base et sources de compléments. À titre d'exemple, on peut citer la pratique de complémentation des graminées par des ligneux fourragers en zone guinéenne : leur efficacité zootechnique n'est avérée que quand ils sont associés à des graminées âgées et pauvres. La comparaison des performances avec celles obtenues avec du tourteau de coton ne résiste pas à l'analyse économique.

Une autre dimension à prendre en compte est l'impact environnemental de la complémentation. La production laitière périurbaine illustre cet impact. L'utilisation massive d'aliments de complément, et notamment de SPAI, permise par le marché lucratif du lait, attire de nombreux animaux à la périphérie des villes. Ces troupeaux importants occasionnent un surpâturage et un surbroutage des espèces arbustives et des arbres, qui accentue la déforestation. L'efficacité zootechnique et économique de la complémentation est alors associée à des effets négatifs sur l'environnement. Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour réduire ces effets, comme un allotement plus sélectif pour ne rapprocher des villes que les femelles en lactation, la réglementation du pâturage périurbain et la réduction du coût des SPAI qui les rend plus concurrentiels par rapport au pâturage.

L'ALIMENTATION DES RUMINANTS EN STABULATION

● Les atouts et les limites

Stabuler des animaux consiste à les entretenir en claustration dans un dispositif fini (parc, enclos, bâtiment plus ou moins sophistiqué), pendant tout ou une partie du temps. Le système de stabulation peut être permanent, alterné ou saisonnier avec, par exemple, stabulation de nuit et pâturage de jour (système *mixte* ou alterné de stabulation), ou stabulation de saison des pluies et divagation au pâturage en saison sèche (système *saisonnier* de stabulation).

Le terme de stabulation s'applique en principe aux bovins⁴ et par extension aux herbivores, mais le principe est le même pour les autres espèces : des porcs ou des volailles peuvent également être entretenus soit en liberté soit en claustration.

La stabulation est souvent liée à une stratégie d'intensification et correspond aussi à une spécialisation : ainsi, chez les ruminants, des illustrations nous sont fournies par les vaches laitières, les animaux de trait (équidés et bovins), l'embouche ovine et bovine, etc.

On distingue classiquement la stabulation libre et la stabulation entravée. Dans le premier système, un groupe d'animaux est maintenu en liberté dans un enclos qui comporte une aire couverte d'alimentation et de repos et une aire d'exercice plus vaste, à l'air libre et de dimension variable. Un bon exemple est constitué par les parcs d'embouche bovine qui sont le plus souvent des stabulations libres permanentes.

La stabulation en général, et la stabulation entravée encore plus, permettent une économie de place. Ces techniques s'imposent lorsque l'on dispose de peu d'espace. On observe donc logiquement un gradient allant de situations à faible densité de population et d'occupation des sols (avec systèmes extensifs et peu de stabulation) vers des situations à plus forte densité d'occupation des sols, avec spécialisation⁵, intensification des élevages et stabulation plus fréquente des animaux.

C'est dans ces situations d'intensification que la proportion des aliments concentrés (SPAï par exemple, voir ci-dessus) dans la ration des animaux peut devenir plus importante ; ainsi des laitières à haut potentiel de production reçoivent, en plus des fourrages, une part de concentrés d'autant plus importante que la ration fourragère de base est plus pauvre et leur niveau de production plus élevé. Ces aliments concentrés peuvent couvrir 50 à 60 % des besoins énergétiques pour des vaches laitières ou en embouche intensive.

● Les avantages de la stabulation

Elle permet d'éviter les déplacements, la divagation des animaux⁶ et leurs inconvénients, tels que les dégâts aux cultures, les pollutions dans les villages, les animaux égarés, les accidents au village ou en déplacement, etc.

4 Stabulation vient du mot étable et veut dire à l'origine : « mise à l'étable » ; par extension l'entretien à l'écurie des équidés ou en bergerie des ovins relève de la même logique et peut être envisagé sous le terme générique de stabulation.

5 Spécialisation pour le lait ou pour l'embouche, par exemple.

6 Des animaux non stabulés ne sont cependant pas nécessairement en divagation : ils peuvent être gardiennés (c'est-à-dire au pâturage sous surveillance), au piquet (c'est-à-dire attachés sur des zones ouvertes de pâturage) ou dans des parcelles clôturées.

Elle permet aussi, selon l'équipement, de protéger plus ou moins bien les animaux des intempéries : pluie, vent, soleil, chaleu, etc

L'alimentation peut également être mieux contrôlée, soit individuellement si les animaux sont entravés, soit collectivement en stabulation libre. Les animaux dépensent également moins d'énergie pour leurs déplacements et la valorisation de la ration⁷ est meilleure, car les refus et le gaspillage sont moindres qu'au pâturage. Globalement la stabulation permet donc de mieux maîtriser et contrôler l'alimentation distribuée et la consommation des animaux, en fonction des objectifs de production de l'éleveur.

Elle permet aussi, en principe, une meilleure valorisation des déchets d'élevage⁸, avec la fabrication de fumier, de lisier, de compost, de biogaz, etc. Enfin, la stabulation permet un contrôle et un suivi des animaux beaucoup plus faciles et plus stricts, qu'il s'agisse des soins, de la reproduction, de la traite, etc. Elle s'inscrit donc dans une logique d'amélioration de la production animale.

● **Les inconvénients de la stabulation**

Les coûts d'entretien des animaux sont, en général, accrus, à commencer par les coûts d'alimentation. Il faut en effet, dans le cas de la stabulation permanente, affourager les herbivores, ce qui peut représenter une lourde charge⁹ en travail et des coûts élevés (récolte et transport des fourrages).

L'importance et la concentration des déjections des animaux en stabulation peuvent constituer un problème pour le voisinage (écoulements, odeurs, mouches...) et pour l'environnement (lixiviats et pollution des nappes phréatiques). La fabrication et l'évacuation du fumier ou son compostage avant épandage constituent, certes, une charge mais qui peut devenir un avantage s'il est bien valorisé sur les parcelles, jardins¹⁰...

Enfin, l'animal en stabulation est totalement dépendant de l'éleveur. Là encore cet « inconvénient », car il y a plus de travail, présente aussi des avantages en termes de soins, surveillance, traite, etc.

● **Le diagnostic des systèmes d'alimentation en stabulation**

Il se fonde sur les principes énoncés ci-dessus pour tout système d'alimentation, mais il peut s'effectuer avec une plus grande précision que pour des animaux en liberté grâce au contrôle plus aisé des rations distribuées. Le diagnostic doit donc porter plus spécifiquement sur les conditions d'efficacité et sur des problèmes particuliers propres à la stabulation.

7 Formulé autrement, on peut dire que le système d'alimentation en stabulation améliore le « coefficient d'utilisation » des ressources.

8 En cas de forte concentration d'élevages intensifs, ces effluents peuvent occasionner des problèmes de pollution, comme sur l'île de la Réunion.

9 D'où l'intérêt des systèmes mixtes évoqués ci-dessus, où des vaches laitières peuvent par exemple prendre l'essentiel de leur ration de base de jour au pâturage et être stabulées du soir au matin pour la traite, les soins et une éventuelle complémentation alimentaire. Ce type de raisonnement peut s'appliquer également à des animaux de trait qui peuvent être mis au piquet ou au pâturage le jour, lorsqu'ils ne travaillent pas, et stabulés la nuit.

10 Au Sud Bénin, la vente à des horticulteurs du fumier produit grâce à l'installation d'une aire de nuit bétonnée peut rapporter aux éleveurs bovins (troupeau mixte de race locale produisant viande et lait) un produit brut du même ordre de grandeur que celui de la viande commercialisée.

● Les conditions d'efficacité

Ce sont :

- > la connaissance des aliments distribués ;
- > l'optimisation de la qualité et de la valeur alimentaire de ces aliments ;
- > l'équilibre des constituants de la ration, en tenant compte des catégories d'animaux, des objectifs de production ainsi que du passé et de l'état nutritionnel des individus ;
- > l'optimisation, au plan nutritionnel et économique, de l'ingestion des différents aliments de la ration¹¹ ;
- > l'examen des pratiques d'utilisation des aliments : présentation, mangeoires et râteliers, risques de gaspillage, facilité et confort d'accès, entretien, rythmes et modes de distribution, compétition entre les animaux en stabulation libre ;
- > l'optimisation technico-économique du niveau d'alimentation, liée aux objectifs de production.

● Les problèmes spécifiques de la stabulation

Quelques points méritent une attention particulière :

- > vérifier les conditions sanitaires, de conduite et de bien-être des animaux ;
- > s'intéresser, en stabulation libre, au comportement «social» des animaux qui peut induire des différences entre les individus (dominance de certains) ;
- > évaluer les nuisances éventuelles (effluents, pollution) et rechercher la valorisation optimale des effluents (fumier, lisier, compost).

● Les échelles pertinentes

Pour les animaux en stabulation, trois niveaux sont particulièrement pertinents :

- > *le niveau individuel* s'impose s'il s'agit de stabulation entravée où il est possible de suivre ration, performances et besoins individuels (par exemple pour une vache laitière ou un animal de trait) ;
- > *le niveau du lot (ou de l'atelier)* est logique pour la conduite en stabulation libre ; c'est alors une appréciation collective des besoins (sur la base du poids moyen et des performances recherchées) qui dicte la conduite à tenir en matière d'alimentation ;
- > *le niveau de l'exploitation* enfin est celui où s'apprécie le bilan fourrager global, qui prend en compte les différents lots d'animaux entretenus sur l'exploitation.

¹¹ C'est ainsi que les éléments encombrants, tels que les fourrages, sont souvent produits sur place dans une exploitation mixte, et donc plus économiques que les aliments concentrés, mais dans certaines situations urbaines ou péri-urbaines, les rapports de prix peuvent se modifier fortement.

● L'organisation du diagnostic

Comme déjà évoqué deux situations peuvent se présenter :

- > *en stabulation permanente*, il est possible de contrôler l'ensemble de l'alimentation distribuée à chaque individu ou à un groupe d'animaux ;
- > *en système mixte*, avec des périodes alternées de pâturage et de stabulation, il est possible de bien contrôler la part de la ration distribuée à l'auge, mais ce n'est pas le cas du prélèvement sur le pâturage pour lequel les méthodes évoquées plus haut sont pertinentes.

La ration alimentaire distribuée doit être abordée du point de vue qualitatif et quantitatif, nutritionnel et économique :

- > *diversité et qualité de chaque aliment* utilisé dans le rationnement ;
- > *valeur alimentaire et coût*¹² de ces différents constituants de la ration ;
- > *quantités distribuées/consommées* : il s'agit d'une démarche plus spécifique à la stabulation qui consiste à estimer les quantités consommées à partir de la mesure des quantités distribuées diminuées des «refus». Deux problèmes principaux se posent pour déterminer ces quantités consommées et la qualité de l'ingéré : l'estimation des quantités consommées individuellement est facile en stabulation entravée mais plus complexe en stabulation libre, car la moyenne n'est pas pertinente si les animaux n'ont pas le même poids et si des comportements dominants se traduisent par des consommations individuelles plus fortes de certains individus. L'autre difficulté est relative à la qualité des refus, qui peut être différente de celle de l'aliment distribué car les animaux sont susceptibles de faire des tris¹³. Il est souhaitable de limiter à 10 ou 20 % les refus sur un fourrage grossier distribué (paille ou foin par exemple). Ces refus ne sont pas complètement des pertes pour deux raisons : d'abord les animaux ont peut-être utilisé le plus appétent et le plus énergétique ; ensuite les refus, incorporés à la litière, contribuent à la fabrication de fumier.

Les conditions de distribution de ces rations sont aussi des éléments à examiner attentivement :

- > le nombre, les dimensions, la nature et la qualité des mangeoires et des râteliers doivent non seulement permettre à tous les animaux d'un lot de consommer dans de bonnes conditions d'ingestion et de bien-être, sans compétition entre eux, mais ils doivent également limiter le gaspillage. Les équipements doivent être adaptés au format des animaux et au type d'aliment utilisé¹⁴.
- > les conditions et les modes de distribution des aliments sont également étudiés : horaires, rythme, conditions hygiéniques (état de conservation des aliments, qualité de l'eau), etc.

12 Dans ce type d'estimation, il faut être attentif au fait qu'un aliment produit sur l'exploitation a aussi un coût ; en effet, plutôt que de produire, transporter, stocker et utiliser un fourrage, l'éleveur aurait parfois la possibilité de le vendre (s'il existe un marché local pour ces fourrages) ou de produire autre chose (coût d'opportunité).

13 Un exemple est celui des résidus de culture (fanés de légumineuses ou pailles de céréales) pour lesquels les animaux, s'ils le peuvent, choisissent préférentiellement certains éléments comme les feuilles au détriment des tiges.

14 On doit être particulièrement attentif à disposer d'équipements adaptés pour des aliments particuliers, comme les aliments concentrés pulvérulents (farines) ou liquides (mélasse).

L'abreuvement est un point important du système d'alimentation, a fortiori en stabulation. Il faut veiller à ce que de l'eau propre soit accessible en permanence à tous les animaux. S'il n'est pas possible d'équiper de façon permanente une étable entravée, il faut donner accès à l'eau aux animaux plusieurs fois par jour (surtout pour des laitières et en saison chaude !).

La démarche générale de diagnostic des systèmes d'alimentation reste pertinente pour les animaux en stabulation. Le suivi de l'alimentation peut être y plus précis que dans les élevages en liberté ; de même, le suivi des performances des animaux stabulés est facilité par ces conditions d'entretien. Pour certaines productions telles que le lait, on dispose d'un indicateur zootechnique précis et quotidien de la performance de la femelle ; cela permet par exemple d'ajuster précisément les niveaux d'apport d'aliments concentrés aux niveaux de production des femelles. De même, dans le cas des animaux de trait en stabulation, il est possible de moduler les apports alimentaires en fonction des efforts demandés aux animaux.

● **Les problèmes spécifiques liés à la stabulation**

Il est important, dans ce système d'entretien des animaux, de prendre en compte d'autres éléments que la stricte adéquation des besoins et des apports alimentaires. Les aspects spécifiques auxquels il faut apporter une attention particulière sont :

- > les nuisances éventuelles pour l'environnement : bruits, odeurs, pollutions, effluents, etc. Ces problèmes sont d'autant plus importants que les élevages en stabulation sont souvent situés dans des zones assez densément peuplées, parfois en milieu péri-urbain voire urbain !
- > la santé et le bien-être des animaux doivent être respectés et stabulation ne doit pas être synonyme de claustration dans un espace minimal. Les animaux étant totalement dépendants de l'homme, il faut veiller à ce que le logement, l'alimentation, l'abreuvement, le repos, etc. soient correctement assurés ;
- > certains risques sanitaires sont accrus par la concentration animale et il faut veiller, par des aménagements adaptés et des pratiques attentives, à diminuer ces risques¹⁵ ;
- > les modalités de distribution des aliments doivent les rendre plus appétibles et plus sains : nettoyage régulier des mangeoires, retrait quotidien des refus, distribution fractionnée et fréquente des repas (deux à trois fois par jour, surtout s'il s'agit de fourrages verts).

La maîtrise souhaitée de l'alimentation des animaux en stabulation conduit aussi à examiner les conditions de l'approvisionnement en ressources alimentaires.

¹⁵ On conseille par exemple d'éviter un excès d'humidité au sol grâce à un paillage, à un bon drainage des aires exposées à la pluie, etc. On recommande aussi des planchers surélevés ou des caillebotis pour les chèvres ; de beaux exemples de constructions traditionnelles adaptées peuvent être observés au Sénégal.

Deux questions se posent :

- > une partie de la ration est souvent produite sur l'exploitation : il faut alors effectuer le diagnostic de la production fourragère sur l'exploitation¹⁶ et gérer cette production dans le temps. L'adéquation recherchée ne résulte pas seulement d'un bilan quantitatif équilibré sur l'année mais aussi d'un ajustement satisfaisant dans le temps. Les stocks de fourrage sous forme de foin ou d'ensilage sont souvent nécessaires pour assurer les reports adéquats ;
- > la partie de la ration achetée à l'extérieur pose des problèmes de prévision et de stockage, mais aussi de disponibilité de ces aliments sur le marché¹⁷.

● Des indicateurs-clé

Il est possible de résumer un certain nombre d'indicateurs-clés par niveau d'observation :

- > *individu* : état corporel, état sanitaire, performances et niveau de production ;
- > *atelier* : installations, espace, abreuvement, mangeoires, râteliers, effluents, valorisation des déjections ;
- > *lot d'animaux* : objectifs, comportement, compétition, bien-être ;
- > *exploitation* : bilan fourrager pour l'ensemble des ateliers, stocks fourragers (quantité, qualité), approvisionnement et stockage des aliments achetés.

Pour l'éleveur, l'important est que la stabulation s'intègre dans son système de production, lui permettant d'atteindre ses objectifs de production animale, soit en combinaison avec d'autres modes d'entretien, soit en stabulation permanente. Il est donc amené à raisonner ses choix de production et d'équipement d'élevage en fonction de ses capacités de production de fourrage et d'approvisionnement en aliments.

LES SYSTÈMES D'ALIMENTATION DES MONOGASTRIQUES NON HERBIVORES

Les monogastriques non herbivores (porcs et volailles) ont besoin d'une alimentation relativement proche de celle de l'homme : sources d'énergie (amidon, sucres), de protéines équilibrées en acides aminés, de lipides etc. Dans le cas d'une production assez intensive, sans divagation des animaux, ces nutriments doivent être apportés à l'animal par l'homme, en fonction des disponibilités en matières premières et de ses connaissances sur leur valeur alimentaire.

Certains systèmes très peu intensifs peuvent toutefois être basés sur la recherche de l'aliment par l'animal lui-même, avec éventuellement une légère complémentation : c'est le cas de volailles en *divagation* qui vont se nourrir de graines, d'insectes, de déchets alimentaires trouvés à proximité des habitations. Ce peut être également le cas de systèmes de production particuliers (canards sur rizière), où les animaux sont laissés pendant une certaine période avec une grande autonomie dans un milieu dont on

16 C'est ici qu'au-delà des niveaux individuels et de lot, on retrouve le niveau exploitation, notamment pour mettre en cohérence les différents besoins de fourrages de l'exploitation.

17 Cet aspect amont (approvisionnement en aliments) est important et doit être maîtrisé ; en effet, certains échecs (d'embouche bovine par exemple) ont pu être attribués à un manque de maîtrise de l'approvisionnement en aliments. Il est essentiel d'avoir des alternatives en cas de rupture de stock ; ainsi, si certains SPAI (sons de céréales ou tourteaux par exemple) manquent, il faut trouver une solution de remplacement comme l'achat de céréales ou de fourrage.

sait qu'il offre des ressources intéressantes. Les porcs ont plus de facilité à s'alimenter seuls car ils peuvent valoriser une gamme d'aliment plus étendue. Mais leur divagation pose d'autres problèmes (sanitaires, de dégâts...) qui la rend peu recommandable.

Dans le cas particulier de l'élevage porcin, on peut proposer aux animaux une alimentation pondéreuse mais peu nutritive ou déséquilibrée (son de céréales, aliments fibreux ou riches en eau, etc.) et procéder à une complémentation dont le principe est le même que chez les ruminants. À partir d'une estimation des besoins des animaux et des apports par la «ration de base», on déduit la composition et la quantité d'aliment complémentaire à fournir. Dans les faits, les systèmes d'alimentation utilisant ce principe partent souvent d'une évaluation empirique des besoins et apports. La complémentation se limite donc à la fourniture d'une quantité de complément, en général issu de l'exploitation (son de riz, épiluchures de racines et tubercules), parfois associé à un aliment acheté (tourteau par exemple).

La grande majorité des systèmes d'alimentation des espèces non herbivores se pratique toutefois «hors sol» et sur la base d'aliments concentrés. Ces systèmes sont plus efficaces car ils permettent de coller de très près aux besoins des animaux et d'extérioriser leur potentiel. Il y a une grande variété de modalités d'application de ces systèmes. Nous allons en détailler les aspects les plus importants, d'une part parce que ce sont les systèmes qui se développent le plus dans le monde actuellement, et d'autre part parce que les éléments de raisonnement ou de fonctionnement qu'ils mettent en œuvre permettent également d'améliorer des systèmes moins intensifs.

Le système d'alimentation intensif étant défini par l'aliment lui-même, nous allons considérer les différents aspects de sa fabrication : aspects techniques, mais également économiques et industriels, puisque cette activité peut se faire à différentes échelles (éleveur, artisan, industrie). Une constante de ce type d'élevage est l'utilisation d'animaux à fort potentiel génétique de production, forcément exigeants pour leur alimentation.

● **La formulation des rations**

La formulation consiste à mettre en relation les besoins des animaux et les caractéristiques des matières premières, de façon à obtenir un mélange de matières premières convenant aux objectifs de production (quantité et qualité des produits). Dans la pratique cette optimisation technique est doublée d'une optimisation économique qui permet de remplir les contraintes alimentaires au coût le plus bas possible. La formulation consiste parfois en l'application d'une simple *recette* qui a fait ses preuves, mais elle est le plus souvent le fruit d'une optimisation plus ou moins complexe, aujourd'hui réalisée par des logiciels spécialisés. Le degré de sophistication de ces logiciels (d'une simple feuille de calcul à des applications très performantes) et la quantité d'informations fournies varient avec la taille et les moyens du fabricant d'aliment, mais également avec son souci de qualité. Le point commun entre les différentes méthodes d'optimisation est leur très grande précision mathématique. La pertinence du résultat ne dépend pas du logiciel, mais des informations qu'il contient, comme nous allons le voir ci-dessous.

● La connaissance des besoins des animaux

Si les besoins des animaux standards en milieu tempéré et en élevage industriel sont aujourd'hui assez bien connus et bien documentés dans la littérature, il se pose la question de leur adaptation à des conditions moins typiques : des races ou souches différentes, un climat différent et parfois des pratiques d'élevage différentes.

Pour des élevages très industriels, le problème est moindre, car les races sont généralement les mêmes que celles exploitées dans les pays tempérés, et le facteur de la chaleur est soit maîtrisé, soit pris en compte dans la formulation.

Dans le cas d'élevages plus modestes, il faut tenir compte du climat, et notamment de son incidence sur l'ingestion : celle-ci est généralement diminuée par la chaleur (cet effet est augmenté par l'humidité), et la plus faible quantité consommée doit contenir les éléments nutritifs nécessaires à l'animal. La ration doit donc être concentrée en protéines, acides aminés, minéraux, vitamines etc. Le facteur génétique est plus difficile à prendre en compte : les souches de volailles sont assez standardisées mais en production porcine, une plus grande diversité génétique peut entraîner des écarts importants entre les souches ayant servi à établir les *normes* et celles présentes sur le terrain. Il faut donc pouvoir caractériser les races et arriver à des objectifs de croissance à partir desquels on déduit les besoins.

L'essentiel est de ne pas considérer les normes des pays du Nord comme des valeurs de référence lorsqu'on travaille avec des animaux très différents, et d'être conscient que leur utilisation entraîne nécessairement un biais.

● La variabilité des matières premières

La fabrication d'un aliment se fait à partir de matières premières qui se complètent pour apporter les nutriments nécessaires, à savoir énergie, protéines, minéraux et vitamines. Ces matières premières sont généralement en nombre limité :

- > quelques céréales ou autres sources d'amidon (racines, tubercules), qui apportent principalement de l'énergie (et, pour les céréales, des protéines) ;
- > quelques tourteaux ou autres sources de protéines (farines de poisson). La teneur en protéines des tourteaux varie de 50 % environ (certains sojas, arachide) à 20 % (palmiste, coprah) ;
- > quelques sous-produits (sons, drèches...) qui peuvent être de bonnes sources de protéines et d'énergie, et présentent l'avantage par rapport aux céréales de ne pas être en concurrence avec l'alimentation humaine ;
- > des vitamines, minéraux et compléments alimentaires.

Toutefois, ces matières premières varient selon leur origine, la variété, les conditions de culture, de récolte et de conservation. Dans certains cas, l'écart peut être considérable : ainsi, la teneur en protéines ou en énergie d'un son de riz peut varier du simple au double selon l'origine (son fort artisanal ou son fin industriel). Par conséquent, un mélange réalisé à partir de la même formule peut ne pas aboutir à une qualité d'aliment équivalente. Pour ces raisons, on cherche le plus souvent à diminuer le risque d'erreur sur la qualité des matières premières.

Dans cette optique, plusieurs stratégies complémentaires peuvent être mises en œuvre :

- > considérer comme des matières premières différentes des produits ayant une origine géographique distincte (maïs importé/maïs local...) ou issus de technologies différentes (son de moulin artisanal/industriel...) ;
- > ne pas se fier à une donnée de composition unique ou à une seule table, mais comparer les sources d'information disponibles ;
- > contrôler, lorsque cela est possible, la composition exacte des matières premières, et en premier lieu leur humidité qui est souvent le premier facteur de variation de la composition. Cette information doit être sauvegardée pour affiner les connaissances au fil du temps ;
- > ne pas utiliser en trop grande quantité les matières premières les plus variables, afin qu'une erreur d'estimation de leur valeur ait des conséquences limitées.

● La disponibilité des matières premières

La disponibilité en matières premières de qualité est souvent un frein important au développement des élevages de monogastriques. Les céréales ou tubercules qui constituent presque obligatoirement la base alimentaire ne sont pas toujours disponibles pour l'alimentation animale. Ce problème se pose autant au niveau national que régional et local.

● *Au niveau national*

À cette échelle, les ressources sont parfois insuffisantes pour une ou plusieurs catégories de matières premières. Le recours aux importations n'est pas toujours facile : il n'est possible que quand le pays peut être approvisionné depuis les états voisins ou par voie maritime. Il nécessite en outre l'utilisation de quantités importantes de matières premières pour bénéficier de tarifs avantageux pour le transport. Bien souvent les industries importatrices de matières premières travaillent avec un modèle d'aliment standard (de type *maïs + soja*), laissant peu de place aux ressources locales moins standardisées et d'approvisionnement moins régulier. Pour sortir de cette logique, le premier travail à faire est donc le recensement quantitatif des matières premières et sous-produits locaux. Leur utilisation peut ensuite être promue par une meilleure organisation du marché, des prix plus rémunérateurs, la constitution de références sur leur utilisation, l'optimisation technique de leur transformation dans le but d'obtenir des sous produits de qualité, etc.

● *Au niveau régional et local*

Les problèmes peuvent être sensiblement différents à ce niveau : la circulation des matières premières dans un pays se fait en fonction des transports utilisables et de la confrontation des prix de vente et des coûts (prix d'achat local + transport). Ainsi une région produisant une quantité appréciable de matières premières peut être très défavorisée pour son utilisation si l'ensemble de la production part vers un centre urbain plus rémunérateur. L'utilisation locale des matières premières peut passer par la contractualisation des marchés, par des prix plus attractifs, etc.

● Les minéraux et les vitamines

En production intensifiée, il n'est pas possible de formuler un aliment complet sans se servir de sources industrielles de minéraux et vitamines. En effet, si les minéraux majeurs (Ca, P) peuvent parfois être trouvés localement (coquilles d'huîtres, os calciné, calcaires...), les autres minéraux, les oligo-éléments et certaines vitamines ne sont pas contenus en quantité suffisante dans les matières premières employées. On ajoute donc en formulation une certaine quantité d'un *prémélange* (ou *premix*) spécifique de la production considérée, qui garantit une fourniture suffisante de ces éléments. En théorie, une quantité de *premix* concentré équivalente à 0,1 % - 0,2 % de la ration suffit. Mais dans des unités de production de capacité modeste, on risque d'avoir un mélange hétérogène qui conduit certains animaux ou élevages à souffrir de carences ou d'excès. Par conséquent, on préfère une incorporation à 0,5 % voire 1 % ou 2,5 % d'un *premix* évidemment moins concentré.

Dans la même catégorie, on classe les acides aminés de synthèse (lysine, méthionine), dont l'ajout est souvent nécessaire pour équilibrer les rations. On voit donc que des additifs *industriels* interviennent nécessairement, même dans des systèmes d'alimentation simples. Il faut toutefois faire extrêmement attention à leur provenance et à leur état de conservation car ces additifs très coûteux peuvent faire l'objet de falsifications ou simplement être périmés.

● La qualité des rations

L'alimentation représente généralement entre 70 et 80 % du coût de production des espèces non herbivores, puisqu'elle utilise pour partie des matières premières de forte valeur commerciale et des additifs coûteux. Le déséquilibre des rations alimentaires entraîne immédiatement des baisses de production sensibles et pénalisantes pour l'éleveur. Il faut donc que la qualité des aliments soit aussi constante et proche des besoins alimentaires des animaux que possible.

Dans le cas d'un fabricant d'aliment spécialisé, une sanction rapide de problèmes de qualité peut être la désertion de ses clients dont les performances d'élevage ont baissé. Dans le cas d'une fabrication à la ferme, il faut une rigueur et une vigilance constantes pour maintenir un niveau de qualité optimal et réaliser les ajustements éventuellement nécessaires.

Le facteur de qualité le plus important est la composition chimique de l'aliment, qui doit correspondre aux besoins des animaux et, le cas échéant, aux indications commerciales portées par le fabricant sur l'étiquette. L'étiquetage est une pratique engageant la responsabilité du fabricant et du commerçant qui devrait être systématisée lors de la définition et de l'application des réglementations sur les aliments du bétail. La composition de l'aliment est appréciée lorsque c'est possible par des analyses de laboratoire, mais la garantie d'emploi de matières premières convenables et de l'ajout des compléments nécessaires peut être une première étape. La réponse des animaux est un autre facteur d'appréciation possible de la qualité.

D'autres facteurs alimentaires interviennent et peuvent conditionner la réussite de l'élevage.

Nous citerons parmi les plus importants :

- > l'absence de facteurs antinutritionnels ou toxiques, qui doit être surveillée par la nature et l'état de conservation des matières premières employées ;
- > l'absence de facteurs limitant l'appétence de l'aliment ;
- > la granulométrie de l'aliment. Ce facteur est particulièrement important chez la volaille qui n'apprécie pas une mouture trop fine. Des aliments présentés en granulés sont techniquement très avantageux ; malheureusement, leur coût d'élaboration est généralement prohibitif.

● Le contrôle de la qualité

La constance de la qualité des aliments nécessite un contrôle fréquent des matières premières utilisées et des produits. Ce contrôle permet de s'assurer de la pertinence des valeurs de la table de composition utilisée, et au besoin de les rectifier. Les risques du défaut de qualité sont évidents (moindre performance des animaux, donc perte de confiance des éleveurs) mais la *sur-qualité* (valeurs réelles supérieures aux valeurs annoncées) doit également être évitée car elle a un coût. Enfin, l'aliment étant bien souvent le premier facteur incriminé lors de problèmes d'élevage, le contrôle peut être un argument pour montrer objectivement la qualité des produits. Certains paramètres comme la matière sèche peuvent parfois être mesurés directement par le fabricant, mais généralement les analyses chimiques (protéines, matières grasses, fibres...) sont réalisées dans un laboratoire extérieur dont la plus grande taille permet des économies d'échelle.

Certains contrats de fourniture de *premix* incluent des analyses non payantes, ce qui permet de faire réaliser ces mesures dans un grand laboratoire, avec une bonne fiabilité des résultats. Si on ne bénéficie pas de ce type d'avantage, on peut se reporter sur un laboratoire local ou international. Les critères de choix portent essentiellement sur la fiabilité des résultats et sur les délais demandés. Le prix peut être considéré comme secondaire : si l'on considère qu'en moyenne une analyse permettant de calculer la valeur alimentaire coûte l'équivalent de 200 kg (analyse de base) à 500 kg (analyse complète) d'aliment, on voit que réaliser une mesure toutes les 200 tonnes d'aliment ne revient qu'à 0,1 % du prix du produit, coût qui peut être compensé par les économies issues d'une meilleure formulation, sans compter l'aspect *assurance* et l'argument commercial que constitue cette surveillance.

● La fabrication des aliments et les circuits commerciaux

En théorie, la fabrication des aliments est simple : les mêmes opérations se retrouvent quelle que soit l'échelle de fabrication à laquelle on se situe :

- > l'approvisionnement en matières premières et le stockage ;
- > le broyage de ces matières premières ;
- > le mélange en respectant une formule donnée (ou mélange puis broyage dans certains cas) ;
- > le conditionnement.

Toutefois, les matériels utilisés par un éleveur sont différents de ceux utilisés par une industrie. La répartition du marché entre ces différents modes de production se fait selon le contexte local (accès aux matières premières, présence d'industriels), et selon l'élevage concerné : s'il est relativement aisé de fabriquer à la ferme un aliment pour les porcs ou pour un élevage modeste de poules pondeuses, il est plus difficile d'obtenir un aliment satisfaisant pour des poulets de chair ou de jeunes porcelets.

● **La fabrication par un éleveur**

L'approvisionnement se fait par quantités relativement faibles. Le problème du stockage des matières premières se pose de façon aiguë. La qualité des matières premières n'est appréciée que visuellement, et passe généralement au second plan par rapport à leur coût. Le broyage peut être réalisé à l'aide d'un petit moulin individuel. La formule n'est pas renouvelée souvent et des substitutions plus ou moins empiriques peuvent être pratiquées en cas de manque d'un ingrédient par exemple. Le mélange peut être réalisé à la pelle sur une aire propre, ou dans une mélangeuse (type bétonnière ou plus volumineuse). Les aliments ne sont en général pas stockés longtemps.

● **La fabrication artisanale**

Les formules doivent être réactualisées périodiquement pour tenir compte de l'évolution des matières premières ou de leur prix. Ce travail de formulation peut être effectué par le fabricant lui-même s'il dispose des outils et du savoir-faire nécessaires, ou par un fournisseur de services (souvent les fournisseurs de pré-mélanges minéraux et vitaminiques assurent ce service gratuitement).

L'approvisionnement se fait en quantités plus importantes et le stockage doit être convenablement organisé. Un ou plusieurs broyeurs préparent les matières premières. Le mélange, le conditionnement et le stockage ne sont pas des opérations difficiles à gérer mais nécessitent de l'attention.

Le contrôle de la qualité des produits peut rarement être réalisé par le fabricant lui-même et il est bien souvent négligé. Il s'agit pourtant d'un outil de « pilotage » de l'activité qui permet d'améliorer la qualité de ses produits et sert également d'argument commercial vis-à-vis des clients.

● **La fabrication industrielle**

Les principes sont les mêmes. L'approvisionnement en grande quantité est parfois difficile mais peut permettre d'accéder à des prix plus avantageux ou à une qualité plus stable. L'équipement industriel est plus important et le broyage est parfois suivi de la granulation pour certaines productions, ce qui donne un avantage comparatif. Les capacités et la gestion du stockage sont primordiales.

La précision de la formulation est augmentée par le nombre plus important de formules à mettre en œuvre : un industriel travaille forcément sur plusieurs types d'aliments et doit donc optimiser l'achat et l'emploi des matières premières d'une façon beaucoup plus fine. Fabriquant également de l'aliment pour des animaux sensibles (jeune), il doit bien connaître les matières premières. La sanction d'une erreur n'est pour lui pas technique mais économique. Il doit donc pouvoir surveiller (laboratoire interne ou externe) et garantir la qualité de ses produits.

● Le problème du stockage

À toute échelle de production, il faut pouvoir stocker des matières premières ou de l'aliment pour assurer aux animaux un approvisionnement régulier. La stratégie adoptée est le fruit de deux tendances contradictoires :

- > stocker beaucoup pour réduire les soucis d'approvisionnement et être assuré d'une disponibilité constante, de prix d'achat plus avantageux, etc;
- > stocker moins pour diminuer les contraintes et le coût du stockage et l'immobilisation financière qui en résulte.

L'équilibre entre ces deux tendances est propre à chaque opérateur. Toutefois les modalités techniques du stockage restent un problème :

- > les matières premières et aliments attirent rongeurs et insectes contre lesquels il faut lutter. Cette lutte peut se faire par la nature des installations, par l'emploi de répulsifs chimiques ou produits de traitement, qui ne doivent pas être nocifs pour les animaux ;
- > la conservation de certaines matières premières est difficile : une teneur en eau élevée favorise la prolifération de moisissures qui, outre la diminution de la valeur alimentaire des matières premières, peuvent produire des toxines très dangereuses pour l'animal et même le consommateur (*aflatoxine*, *zéaralénone*, etc.). Une forte teneur en matières grasses peut également poser des problèmes de rancissement (son de riz, tourteaux artisanaux...), qui limitent la valeur alimentaire et l'appétence des produits. Les matières grasses favorisent également la prolifération des moisissures.

Il n'y a pas de solution miracle à la question du stockage. En climat très difficile (chaud, humide), il faut un lieu de stockage bien ventilé, un roulement assez rapide et des produits sains à l'origine (le moins humide possible). Pour des matières premières particulières, l'addition d'insecticides, d'antioxydants ou d'antifongiques peut devenir nécessaire. Dans des climats un peu moins défavorables, il faut veiller aux variations de températures : une élévation de température pendant la journée et un refroidissement la nuit peuvent provoquer une forte condensation et favoriser les moisissures. Un local thermiquement bien isolé mais également bien ventilé est souhaitable. Les matières premières sensibles (tourteaux riches en huile, farines animales, sons gras, etc.) doivent être surveillées et éventuellement traitées. Les traitements préventifs sont toujours plus efficaces que les traitements curatifs.

● La distribution des aliments et les pratiques de rationnement

Sauf dans quelques cas particuliers chez le porc, les aliments sont de type concentré, c'est-à-dire riches en énergie et pauvres en eau.

Sur le plan quantitatif, les animaux aux génotypes les plus modernes peuvent être alimentés à volonté pendant une grande partie de leur croissance, car ils régulent eux-mêmes leur ingestion. Un rationnement, même modéré, permet toutefois d'éviter le gaspillage et d'obtenir des carcasses moins grasses (donc des indices de consommation sensiblement améliorés).

Chez les volailles, le poulet de chair en règle générale ne doit pas être rationné quantitativement. Au contraire, tout est mis en œuvre pour le faire consommer au maximum : éclairage nocturne, aliment concentré et si possible granulé. On effectue parfois un rationnement avant et pendant les heures les plus chaudes de la journée pour aider l'animal à lutter contre la chaleur et éviter ainsi la mortalité liée aux coups de chaleur, mais il ne s'agit pas de limiter sa consommation globale.

En revanche, chez la poule pondeuse, on cherche à apporter à l'animal exactement ce qu'il lui faut d'aliment pour ses besoins d'entretien et de production. Toute quantité supplémentaire serait une perte économique, et nuirait même à la production (engraissement des volailles). La quantité à apporter dépend de la souche, du climat, de la production, et bien entendu de la concentration en nutriments du régime. En élevage au sol, le rationnement permet également de faire en sorte que les animaux vident les mangeoires (et donc d'éviter l'accumulation d'aliment délaissé par les animaux).

● **Les résultats zootechniques**

L'alimentation est le premier poste de dépense dans l'élevage des espèces non herbivores. C'est également un facteur limitant potentiel très fort : une erreur dans la qualité ou la quantité de l'aliment distribué a des conséquences souvent très rapides et importantes sur la production. Cette simple constatation montre l'intérêt majeur de suivre très attentivement l'évolution des performances des animaux.

Toutefois, les résultats zootechniques sont la résultante d'un ensemble de facteurs sanitaires, alimentaire, et d'ambiance et, en cas de problème, seul un examen prenant en compte l'ensemble de ces facteurs peut hiérarchiser les causes possibles de dysfonctionnement. Si la qualité de l'aliment est en effet une cause fréquente de problème, le recours trop rapide à cette seule explication peut faire négliger d'autres facteurs limitants.

Il est donc essentiel de bien décrire la baisse de performance :

- > est-elle observée sur l'ensemble des animaux ou seulement sur certains ?
- > est-elle apparue progressivement ou soudainement ?
- > dans ce dernier cas, peut-on identifier un changement concomitant au problème : changement d'aliment, de pratiques d'élevage, de conditions climatiques ?

En résumé, il faut adopter une démarche de diagnostic global, sans oublier les facteurs possibles de stress (climat, mais aussi bruits, animaux nuisibles, changements de programmes lumineux, etc.) et l'approvisionnement (qualitatif et quantitatif) en eau, qui est bien plus souvent en cause que l'on ne le croit.

Les produits animaux

À partir d'une contribution de B. Faye (CIRAD)

On distingue deux types de produits animaux :

- > *les produits renouvelables* : lait, œufs, miel, laine et poil, fumier ;
- > *les produits terminaux qui nécessitent l'abattage des animaux* : viande, abats, cuirs et peaux.

Certains produits comme le sang peuvent être à la fois des produits renouvelables (c'est le cas chez les populations pastorales de la Corne de l'Afrique qui prélèvent du sang sur leurs animaux par saignée) et terminaux (récolte du sang lors de l'égorge-ment). Ces produits sont susceptibles d'être utilisés bruts ou avec peu de transformation (miel, lait, viande, sang) mais, le plus souvent, ils subissent des transformations importantes faisant appel à des procédés plus ou moins complexes (produits laitiers, charcuteries, cuirs et peaux).

Certains produits sont à vocation alimentaire (lait, viande, œufs, miel), d'autres non (cuirs et peaux, poils et laines, sous-produits d'abattoir). Les produits animaux qui occupent la place la plus importante par le volume traité et l'avantage économique qu'ils confèrent aux producteurs restent la viande et le lait. Il existe par ailleurs des produits marginaux à forte valeur ajoutée qui vont des calculs biliaires (recherchés par l'industrie pharmaceutique et cosmétique) aux cornes de vache (artisanat), en passant par la poudre d'os (alimentation animale). Ils sont évoqués ici seulement pour mémoire.

Les produits animaux peuvent subir de nombreuses contaminations endogènes (c'est-à-dire au moment de leur préparation : abattage d'animaux malades, saignée tardive, lait de mammites par exemple) et exogènes (c'est-à-dire survenant au cours des manipulations successives). Les sources de contamination sont l'homme, les autres animaux, l'environnement (sol, terre, eau, air), diverses matières organiques (le fumier par exemple), les surfaces, les vêtements.

LA VIANDE ET LES PRODUITS CARNÉS

La production de viande à partir d'animaux de rente nécessite le rassemblement des animaux, leur transport sur le lieu d'abattage, l'inspection de l'état sanitaire sur le lieu d'abattage, l'abattage proprement dit, la préparation de la carcasse et du cinquième quartier, l'inspection post-mortem et la transformation éventuelle des produits. La qualité du produit final dépend des règles d'hygiène et de sécurité respectées tout au long de cette chaîne allant de la collecte chez l'éleveur ou sur les marchés à l'étal du boucher. Il est bien entendu que ces règles ne s'appliquent généralement pas en cas d'abattage chez l'éleveur pour l'auto-consommation. Dans les pays du Sud, la part d'autoconsommation, souvent mal connue, peut représenter un pourcentage considérable, notamment pour les espèces de petite taille (petits ruminants, porcs, volailles).

● **Le transport des animaux**

Le convoyage des animaux destinés à l'abattage peut se faire à pied (cas le plus fréquent par exemple dans les pays sahéliens), en véhicule terrestre motorisé ou non, en barque ou bateau, par voie ferroviaire. Le convoyage à pied à l'avantage d'être non stressant pour les animaux, mais il a l'inconvénient d'être parfois très long (plusieurs jours) et de se traduire souvent par un amaigrissement des animaux au cours du voyage. Il existe des normes d'étanchéité et de dimensions par animal des installations internes pour les camions et les wagons, mais elles sont rarement applicables et appliquées dans les pays tropicaux. Cependant les règles de base sont faciles à mettre en œuvre :

- > l'espace nécessaire pour les animaux dans les véhicules de transport est de 1,4 à 1,6 m² pour les bovins de plus de 1 an, 2,1 à 2,3 m² pour les chevaux, 0,4 à 0,6 m² pour les veaux, 0,3 à 0,4 m² pour les petits ruminants et 0,5 à 0,7 m² pour les porcs ;
- > les animaux appartenant aux grandes espèces doivent être de préférence attachés (surtout s'il s'agit de bovins à très longues cornes) et placés perpendiculairement au sens de la marche du véhicule ;
- > les animaux de petites espèces ne doivent être ni attachés, ni entravés ;
- > les animaux d'espèces de tailles différentes doivent être séparés par des cloisons ;
- > le chargement doit se faire en respectant les règles de protection des animaux ;
- > en cas de transport long, il faut prévoir d'abreuver les animaux.

Un transport effectué dans de bonnes conditions limite le stress, la perte de poids, les risques d'asphyxie, de piétinement et autres accidents. Au moment du débarquement sur le lieu d'abattage, les animaux malades ou accidentés doivent être acheminés vers un lazaret ou un abattoir sanitaire s'il existe. Les animaux apparemment sains doivent être dirigés vers un parc de comptage ou vers les stabulations prévues à cet effet en vue de leur identification et de leur préparation à l'abattage. L'idéal est de maintenir une diète de 24 h avant l'abattage afin de réduire les risques de contamination de la viande après la saignée et de réduire le volume des contenus gastriques. Par ailleurs cette phase de diète et de repos permet de diminuer le stress du transport et d'assurer l'inspection *ante-mortem*.

● **L'inspection ante-mortem**

En principe, tout animal doit être soumis avant l'abattage à un examen clinique rapide mais systématique afin de vérifier :

- > le comportement et l'état général ;
- > l'état des muqueuses et des phanères ;
- > l'état des grandes fonctions : respiration, rythme cardiaque, appareil digestif, appareil uro-génital, mamelles ;
- > éventuellement la situation en regard des mesures prophylactiques (vaccinations).

Les animaux atteints de maladies infectieuses appartenant au groupe des maladies réputées légalement contagieuses doivent être abattus séparément des autres bestiaux, en principe dans un local spécifique (abattoir sanitaire). En règle générale, il n'est pas possible de refuser un animal à l'abattoir mais, en cas de besoin, l'abattage peut être différé sur avis explicite du vétérinaire inspecteur.

Il est très important de former et d'informer le personnel d'abattoir sur les maladies transmissibles à l'homme.

● Les conditions d'abattage

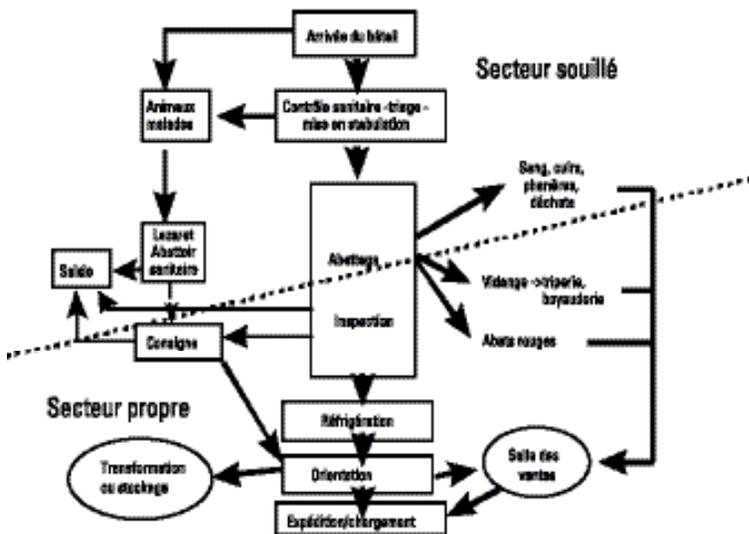
Dans les pays du Sud, la pratique de l'abattage particulier est très fréquente. Les animaux ne sont pas abattus dans un local spécial. Dans ces conditions, l'hygiène de l'abattage n'est qu'un concept théorique. Des aires d'abattage ont pu être construites dans le cadre de divers projets pour répondre à des règles minimales : aire bétonnée nettoyable, point d'eau, suspension possible des carcasses. Des abattoirs modernes munis de chambres froides ont été installés dans la plupart des grandes villes pour répondre aux exigences sanitaires liées à l'exportation de viande. Quelques rares abattoirs africains sont conçus aux normes de la réglementation de l'Union Européenne pour l'exportation.

Les principaux problèmes à résoudre pour le bon fonctionnement d'un abattoir sont :

- > les nuisances pour le voisinage ;
- > l'adaptation du terrain à l'implantation d'un bâtiment important ;
- > l'alimentation en eau potable (un abattoir consomme beaucoup d'eau) ;
- > l'épuration des eaux usées et des déchets d'abattoirs.

Les règles de base pour le fonctionnement d'un abattoir sont :

- > la séparation des secteurs souillés (animaux vivants, déchets, saisis, contenus digestifs) des secteurs propres destinés à la consommation humaine (carcasse, abats) ;
- > la marche en avant et le non-croisement des circuits (cf. figure 1) ;
- > le dépeçage et la découpe des animaux en position suspendue ;
- > le contrôle vétérinaire (inspection *ante-mortem* et *post-mortem*).



➤ Figure 1. La marche en avant et le non-croisement des circuits dans un abattoir

Avant la saignée, les animaux peuvent être étourdis par différentes méthodes électriques ou mécaniques. Mais dans la plupart des pays du Sud, les abattages rituels demeurent prépondérants. L'égorgeage rituel est généralement confié à des personnes expérimentées munies d'instruments efficaces. Dans le cas d'abattages particuliers ou dans des tueries de village, les règles d'hygiène à l'abattage sont rarement respectées. Pourtant quelques règles de base simples peuvent être suggérées :

- > les animaux à abattre doivent être propres ;
- > éviter l'usage abusif de l'eau au cours du dépeçage de l'animal pour limiter les sources de contamination surtout dans les pays chauds ;
- > éviter la contamination des carcasses par les éléments du secteur souillé (déjections, peau, souillures de toute sorte) ;
- > éviter les manœuvres contraires à l'hygiène : l'essuyage des carcasses avec des chiffons humides, le contact direct entre la viande et le sol, l'utilisation d'instruments non nettoyés ;
- > veiller à ce qu'aucun matériel inutile n'encombre les locaux de travail.

● **L'inspection post-mortem**

L'inspection après l'abattage doit se faire dès que la carcasse est prête. Elle permet d'écarter les viandes impropres à la consommation en éliminant, en totalité ou en partie, des carcasses ou des abats qui pourraient nuire à la santé des consommateurs et des manipulateurs. Cette inspection s'appuie en pratique sur un examen macroscopique permettant d'identifier les lésions caractéristiques de certaines maladies infectieuses (lésions tuberculeuses etc.) ou parasitaires (douve du foie, larves de ténia ou d'échinocoques, etc.).

La technique générale consiste à examiner successivement :

- > le sang (couleur, aptitude à la coagulation) ;
- > la tête avec l'ensemble des organes, notamment la langue, site privilégié des larves de ténia ;
- > l'ensemble poumon-cœur (identification des lésions pulmonaires et cardiaques) et les ganglions afférents ;
- > le diaphragme (présence de péritonite) ;
- > le foie et la vésicule biliaire ;
- > le tractus gastro-intestinal et les ganglions lymphatiques afférents ;
- > la rate, la plèvre et le péritoine ;
- > les organes génitaux ;
- > la mamelle et ses ganglions lymphatiques ;
- > la région ombilicale et les articulations chez les jeunes ;
- > les surfaces de fente de la colonne vertébrale, du sternum et du plancher du bassin.

Des précautions particulières doivent être prises pour les abattages d'urgence. Des examens complémentaires faisant appel au laboratoire peuvent être proposés par le vétérinaire inspecteur (recherche de bactéries pathogènes, de xénobiotiques, d'hormones, d'antibiotiques, de certains parasites). Une carcasse propre à la consommation est en principe estampillée. Toute viande ou abat saisi peut être séquestré (en attendant les résultats d'analyses complémentaires), dénaturé (traitement ultérieur dans des centres d'équarrissage) ou détruit (viande présentant un danger pour l'homme).

Après l'abattage, la préparation de la carcasse et l'inspection vétérinaire, les carcasses sont placées en chambre froide (entre 5 et 10°C) pour subir une période de ressuage de 24 à 48 h rendant la viande plus tendre. Les principes de la réfrigération sont les suivants : elle doit s'appliquer à des produits sains, être précoce (deux heures au maximum après l'abattage) et continue jusqu'à la consommation. Dans beaucoup de pays du Sud, l'inexistence de chaîne du froid implique un raccourcissement de la chaîne abattage-commercialisation-consommation. Il est fréquent dans ces conditions qu'un animal abattu tôt le matin soit mis sur le marché dans la journée et consommé dans les heures qui suivent.

● **La transformation des produits carnés**

Après abattage, les parties de l'animal sont séparées en carcasse et cinquième quartier (abats et issues).

La conservation de la viande se réalise selon différentes méthodes :

- > *par déshydratation ou dessiccation sans salage* (par exemple le *xarque dulce* ou le *quittab*, viande fraîche découpée en lanières et séchée au soleil ; le *quilichi*, viande séchée trempée dans une solution pimentée) *ou avec salage* (par exemple le *tasajo* en Amérique du Sud, le *biltong* en Afrique du Sud, le *charqui* et le *quanta* dans la Corne de l'Afrique) ou trempée dans la saumure (viande des Grisons à la mode de Niamey) ;
- > *par fumaison* à la fumée (par fumage à feu ouvert ou dans un fumoir, le *kitosa* à Madagascar) ou avec des arômes de fumée liquide (condensats hydriques ou huileux appliqués par trempage, injection ou pulvérisation) ;
- > *par boucanage* (viande bouillie puis fumée, comme le *banda* au Nigeria) ;
- > *par salaison* au sel, au salpêtre, au vinaigre ou au sucre ; cette salaison s'opère soit par traitement à sec (frottage périodique des pièces de viande ou empilage dans des saloirs), soit par saumure ou marinade (trempage ou injection).

Il existe également des procédés spéciaux tels que la préparation du *varança* à Madagascar (morceaux de viande de bœuf cuits dans la graisse pendant dix à douze heures) ou celle du *chalonga* pratiquée dans la Cordillère des Andes et qui associe chaleur diurne et température nocturne glaciale pour aboutir à l'obtention de carcasses lyophilisées naturellement.

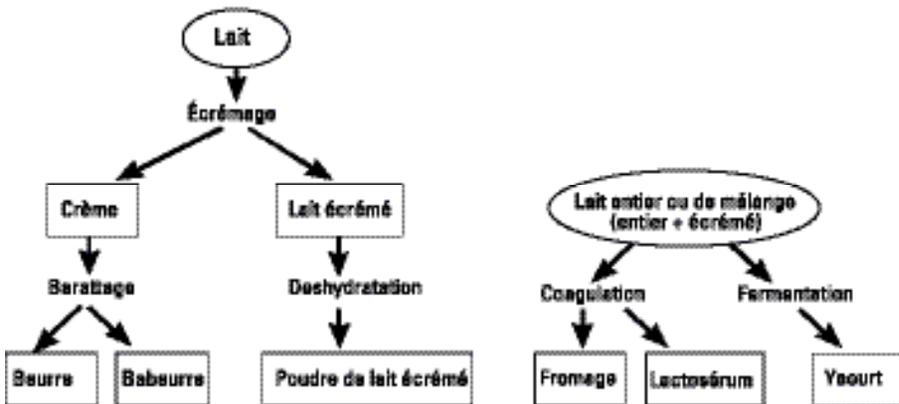
LES PRODUITS LAITIERS

Le lait est un produit biologique capable de subir de nombreuses transformations. À la sortie de la mamelle d'un animal laitier sain, le lait cru est normalement dépourvu de germes pathogènes. Mais au cours des manipulations successives de ce produit fragile (traite, transfert, collecte, transport), les contaminations et les modifications propres au produit peuvent conduire à diverses altérations.

● Le devenir du lait

Il existe de nombreuses formes de produits laitiers, mais globalement les types de produits obtenus relèvent de processus biologiques communs (cf. figure 2). En Afrique, le lait est souvent consommé sous forme acidifiée ou caillée afin d'en faciliter la conservation dans un contexte où la chaîne du froid est rarement disponible. Dans ce cas, le beurre et le babeurre sont directement obtenus à partir du lait acidifié et non à partir de la crème. Après clarification (par chauffage), le beurre est transformé en huile de beurre, appelée ghee. Quant au babeurre, après coagulation, il peut être transformé en fromage maigre et en lactosérum.

Le lait caillé s'obtient par fermentation naturelle (il est appelé *leben* en Afrique du Nord ou *dahi* en Inde). Après égouttage et séchage, il prend une consistance de fromage qui peut se conserver plusieurs jours (par exemple le *hayb* en Ethiopie). En Afrique, il existe également des fromages traditionnels fabriqués à partir de la fermentation provoquée du lait par de la présure de chevreau ou de cabri (par exemple le *tchoukou*, le fromage des touaregs), voire par des produits coagulants naturels comme le latex de *Calotropis procera* (Tchad, Cameroun, Bénin).



► Figure 2 : La transformation du lait en laiterie industrielle

● L'hygiène du lait

Produire un lait et des produits laitiers transformés susceptibles de se conserver et indemnes d'agents pathogènes ou toxiques implique de respecter de quelques règles simples lors de la collecte à la ferme ou au campement :

- > se laver soigneusement les mains à l'eau et au savon ;
- > laver voire désinfecter le récipient destiné à la collecte (préférer un récipient métallique ou en plastique facilement nettoyable à laalebasse traditionnelle ou au panier à traire) ;
- > nettoyer les trayons des femelles laitières ;
- > chez les vaches, attacher la queue car le toupet peut contaminer le lait lors de la traite (les autres espèces laitières ont le plus souvent une queue courte) ;
- > attacher les membres postérieurs de l'animal qui a tendance à bouger et attacher le veau à la mère pour l'empêcher de perturber la traite et rassurer la femelle.

Compte tenu de la faiblesse des quantités produites et des difficultés d'accès, la collecte par camion réfrigéré est rare. Mais des collecteurs utilisent souvent des bidons métalliques ou plastiques pour acheminer le lait soit en deux-roues, soit en voiture dans des centres de collecte où il est réfrigéré. Dans ce type de transport, le lait est à température ambiante, mais plusieurs modes de conservation sont possibles. Traditionnellement, le lait peut être fumé ou bouilli avant transport, mais le lavage soigné ou la désinfection des récipients de transport, le filtrage du lait collecté avant son transfert dans les récipients de collecte, la protection des bidons par un couvercle hermétique sont autant de pratiques relativement simples qui peuvent diminuer les risques de contamination. L'activation de la lactoperoxydase par 0,25 mM de thiocyanate et 0,25 mM de peroxyde d'oxygène par litre de lait permet de prolonger la conservation pendant plusieurs heures à température ambiante.

Dans la laiterie, les technologies utilisables pour la conservation du lait sont :

- > la pasteurisation basse (chauffage de 30 min. à 63-65°C) ou haute (15 sec. à 72°C). À noter que les phosphatases habituellement utilisées comme marqueurs de la pasteurisation ne sont pas inactivées à ces températures dans le lait de chamelle. D'autres marqueurs comme la Gamma Glutamyl Transferase sont utilisables ;
- > la stérilisation qui consiste à chauffer le lait à 110-120°C pendant 15 à 30 min. ou à 135-140°C pendant 2 à 4 secondes (lait UHT) ;
- > la transformation en lait concentré sucré ou non ;
- > la transformation en lait en poudre.

À l'arrivée dans la laiterie, le lait est contrôlé par des tests simples (bleu de méthylène, résazurine).

Tableau 1. Contrôle de la qualité du lait à l'arrivée en laiterie

Note	Qualité du lait	Bleu de méthylène (temps de réduction)	Résazurine (teinte après une heure)
1	Contaminé	t < 2h (< 1h30)	0, 1, 2 (0, 1)
2	Peu contaminé	2h < t < 4h (1h30 < t < 3h)	3, 4 (2, 3)
3	Bonne qualité	T > 4h (> 3h)	5, 6 (4, 5, 6)

Les indications entre parenthèses correspondent aux valeurs appliquées en saison chaude.

Le matériel de laiterie doit être désinfecté quotidiennement par des produits adaptés (soude, ammonium,...) et le personnel doit porter des vêtements de travail réservés à cet usage.

Compte tenu de ce qui précède les risques de contamination du lait prévalent depuis la collecte jusqu'à la transformation. À la ferme, le risque est d'abord hygiénique :

- > contamination fécale (*E. coli*, *Salmonella*, *Clostridium*) lors de la traite (mains du trayeur, queue de l'animal) ;
- > contamination par les germes de l'environnement (*Listeria*, *Pseudomonas*, enterobactéries, moisissures) quand le lait est laissé à l'air libre au cours de la traite ;
- > multiplication des bactéries dans le matériel de traite (*E. coli*) si le nettoyage du matériel est défectueux ;
- > contamination par la flore pathogène du lait (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus sp.*, *Listeria sp.*, *Brucella sp.*, bacille tuberculeux) due aux animaux porteurs sains, aux laits de mammites ou à des contaminations humaines (NB : l'infection mammaire ou mammite est la principale maladie des animaux laitiers) ;
- > contamination par des résidus chimiques ou médicamenteux, due à un non-respect des temps d'attente des spécialités vétérinaires.

Mais le risque peut aussi être commercial :

- > lipolyse et rancissement du lait cru dus à des transferts répétés d'un récipient à l'autre ;
- > protéolyse due à la collecte trop importante de laits de mammites ;
- > inhibition de la fermentation lactique liée aux laits contenant des résidus d'antibiotiques.

Pendant le transport, des délais d'acheminement trop longs et une température trop élevée favorisent la multiplication des bactéries. Le mauvais nettoyage des bidons et un séchage insuffisant des matériels favorisent leur contamination et la transmission au produit transporté. La multiplication des manipulations augmente les risques de contamination par des germes fécaux. L'utilisation d'eau non bouillie pour le rinçage des ustensiles favorise certains germes de l'environnement comme les leptospires. Des délais de conservation trop long (supérieurs à trois jours) et des températures de conservation supérieures à 4°C provoquent le développement d'une flore psychrotrophe (germes capables de se développer à basse température), agent de la protéolyse. L'absence de tank réfrigéré est favorable à la multiplication de la flore coliforme.

Dans la laiterie, des risques de contamination croisée sont relevés lorsque les tests de mesure de la qualité bactériologique ne sont pas réalisés systématiquement. Des recontaminations par les germes de l'environnement sont possibles lorsque l'ensacheuse n'est pas hermétique.

Chez le consommateur, les risques de toxi-infection alimentaire sont plus fréquents en cas de consommation de lait cru ou en présence de toxines dans le lait.

● Les laits de différentes espèces

On se contentera ici d'évoquer les caractéristiques principales de quelques espèces à vocation laitière d'intérêt zootechnique en milieu tropical :

- > la bufflonne se caractérise par la production d'un lait très riche en matières grasses (7 à 8 % en moyenne), présentant une bonne capacité de transformation en fromages ;
- > la chamelle produit un lait comparable dans ses grandes composantes à celui de la vache, mais beaucoup plus riche en vitamine C et en acide gras linoléique, faible en acide butyrique. Il se transforme difficilement en beurre et en fromage ;
- > le lait de chèvre est pauvre en matières sèches et en lactose, mais sa transformation en fromage est aisée ;
- > le lait de brebis, à l'inverse, présente un taux élevé de matières sèches (près de 20 %) et un taux de matières grasses proche de celui de la bufflonne ;
- > le yack est réputé pour la qualité de son beurre.

Tableau 2. Composition du lait de quelques espèces domestiques (en %)

Animal	Matières sèches	Matières grasses	Caséines	Lactose
vache	130	35-45	27-30	47-50
bufflonne	180	70-80	35-40	45-50
chamelle	130	25-50	15-40	25-50
chèvre	140	60-65	30-35	40-45
brebis	190	70-75	45-50	45-50

LES AUTRES PRODUITS ANIMAUX

L'importance économique des autres produits animaux est loin d'être négligeable, notamment les produits non alimentaires tels que les cuirs et peaux, la laine ou les produits alimentaires tels que les œufs.

● Les produits alimentaires

● Le sang

La consommation du sang est souvent interdite ou réservée à des usages rituels. Il existe cependant quelques préparations culinaires intégrant le sang des animaux égorgés. Par ailleurs, les populations pastorales de la Corne de l'Afrique ont coutume de consommer le sang frais prélevé sur des animaux vivants par saignée déplétive.

Le sang représente surtout un sous-produit d'abattoir. Il subit alors divers traitements pour pouvoir le conserver ou le préparer à divers usages (alimentation animale, pharmacie, engrais, agroalimentaire). Pour éviter la coagulation du sang, celui-ci est défibriné par battage. Il peut aussi être additionné d'anticoagulants minéraux. Il est stocké sous forme réfrigérée, congelée ou liquide. Les traitements subis sont l'hydrolyse, la séparation du plasma, la déshydratation pour l'obtention de poudres.

● Les œufs

Les œufs les plus consommés au monde sont les œufs de poule, mais la quasi-totalité des œufs d'oiseaux sont comestibles. Il est possible de trouver sur les marchés des pays du Sud, des œufs de cane, de pintade, de caille, voire d'autruche. L'œuf est un aliment très riche par sa composition protéique qui inclut de nombreux acides aminés essentiels. Pondus par un volatile sain, l'œuf ne contient pas de germes pathogènes. Il est donc indispensable de maintenir cet état bactériologique sain le plus longtemps possible par l'intégrité de la coquille et la limitation des manipulations. Les risques de contamination augmentent avec l'âge de l'œuf, car la coquille n'est pas étanche.

Pour déterminer l'ancienneté de l'œuf, on peut pratiquer une mesure de densité (l'œuf frais coule dans une solution saline alors qu'après quelques jours il flotte) ou le mirer (observation au travers d'une source de lumière) : l'œuf apparaît transparent s'il est frais, plus ou moins rouge s'il vieillit ou s'il est fécondé. La taille de la chambre à air augmente avec l'âge : moins de 4 mm de hauteur dans les œufs *extra-frais*, 6 mm chez les œufs *frais* et au-delà dans les œufs de plus de six jours.

Les œufs fêlés, cassés, souillés représentent une part non négligeable de la production. Ils sont une source de contamination fréquente ; la salmonellose est le risque le plus commun et sans doute le plus grave.

Pour assurer l'intégrité de la coquille et conserver les œufs, plusieurs procédés ont été imaginés : immersion des œufs dans du lait de chaux ou un mélange de silicate de soude et de silicate de potasse, stockage en atmosphère réfrigérée (de - 2°C à - 1°C) enrichie en gaz carbonique. La conservation des œufs sans coquille (ovoproduits) nécessite une technologie industrielle (casserie) permettant de traiter les blancs et les jaunes séparément ou les deux simultanément. Les produits terminaux sont soit des liquides réfrigérés (appelés *coule fraîche*), soit des ovoproduits congelés, soit des ovoproduits en poudre. Ces produits sont généralement utilisés dans l'industrie agroalimentaire (biscuiterie, pâtisserie, pâtes alimentaires). Ces pratiques industrielles sont peu fréquentes dans les pays du Sud.

● Le miel et autres produits de la ruche

Le miel est le produit sucré extrait des ruches, fabriqué à partir du nectar, du miellat et d'autres matières sucrées récoltées sur des végétaux par les abeilles. L'apiculture est très répandue en Afrique, mais la collecte demeure majoritairement traditionnelle et les conditions de celles-ci sont souvent rudimentaires. Par ailleurs, le miel n'est pas le seul produit issu des ruches.

Le miel

Il est stérile à l'origine et sa composition (78 % de sucre) empêche le développement des germes pathogènes. Cependant il peut contenir des levures qui se développent aisément sous les tropiques car le taux d'humidité du miel y dépasse 17 %. Au-delà de 20 % la présence de levures se traduit inévitablement par une fermentation qui altère le produit. Ces levures doivent être détruites par la pasteurisation (chauffage à 78°C pendant moins de dix minutes), qui se traduit par une diminution du taux d'humidité du miel. Sous les tropiques, les risques sont accentués par le fait que le miel étant rarement filtré à la récolte, il s'y mêle des cadavres d'abeilles, des morceaux de cire ou de couvain.

La gelée royale

C'est un aliment concentré très riche en protéines (30 %), destiné à l'alimentation des reines dans la ruche. Il se conserve pendant 6 mois à la température de + 4°C.

La cire

Elle ne présente pas de contrainte de conservation. La plus grande partie de la production africaine est exportée.

L'hydromel

C'est une boisson fermentée fabriquée à partir du miel, appréciée dans plusieurs pays africains. En Ethiopie, il en existe deux sortes : le *berz* (non alcoolisé) et le *tedj* qui titre environ 10° et dont la fermentation est acquise par l'addition d'une plante (le *guesho*). Du fait de l'apport d'eau, l'hydromel est un produit transformé de conservation délicate. Il faut veiller particulièrement à la qualité de l'eau utilisée.

● Les produits non alimentaires

● La laine

La laine est le poil de différents animaux : majoritairement mouton, mais aussi chèvre (races Angora ou Mohair, Kashmir), petits camélidés (alpaga, vigogne et lama) et grands camélidés (dromadaire et chameau). Dans les zones tropicales, les races ovines sont faiblement lainées ou possèdent une toison de qualité médiocre. Il existe quelques races réputées (mouton du *Menz* en Ethiopie par exemple), mais leur qualité lainière reste inférieure aux races européennes. En maints endroits, des projets de croisement avec des races amélioratrices comme le *mérinos* ont permis de répondre à la demande artisanale locale. À partir de la toison issue de la tonte, la laine subit un certain nombre de traitements pour la rendre propre à l'usage textile :

- > lavage répété à l'eau froide pour débarrasser la toison des impuretés et du suint (plus de 30 % des impuretés) ;
- > triage des mèches en fonction de leur qualité (dépendante de leur emplacement sur la peau) ;
- > cardage ou peignage (ce sont deux techniques différentes) pour isoler les fibres les unes des autres ;
- > filage pour obtenir un fil non coloré («laine de pays») ou teint ;
- > foulage ou foulonnage à l'eau chaude pour la fabrication de feutre.

La qualité du produit dépend essentiellement des caractéristiques de finesse et de longueur des brins (cf. tableau 3). Cependant la propreté de la laine est également un atout pour sa qualité. Sur le plan hygiénique, la laine en tant que produit inerte (la kératine n'est pas un bon support microbiologique) ne présente pas de danger, sauf si elle véhicule des impuretés à caractère pathogène comme les spores charbonneuses (cf. le charbon respiratoire due à l'inhalation des *Bacillus anthracis* chez les cardeurs de laine).

Tableau 3. Caractéristiques de quelques laines

Type de laine	Pays producteurs	Finesse (μm)	Longueur (cm)
Mérinos	Europe, Australie, Etats-Unis	17-25	6-12
Mohair	Turquie, Afrique du Sud	24-45	10-25
Cachemire	Inde, Chine, Iran, Asie centrale	15-19	2-8
Chameau	Chine, Mongolie, Asie centrale	16-25	3-25
Alpaga	Pérou, Bolivie	27-45	20-23
Vigogne	Pérou	13	2-5
Lama	Pérou	30-60	13-25

Parmi les fibres animales, les fibres de laine de camélidés se rapprochent du cachemire par la finesse des brins, mais elles sont moins bien filables que la laine de mouton, car beaucoup plus lisses. Parmi les petits camélidés, la production lainière de l'alpaga est la plus importante et la plus recherchée pour la longueur de ses brins.

● Les cuirs et peaux

Le cuir est la dépouille d'un gros mammifère (taurin, cheval, chameau, buffle, zébu). La peau est la dépouille d'un petit mammifère (petit ruminant, lapin), d'un reptile (crocodile, serpent) ou d'un oiseau (autruche). Toutefois, dans ce chapitre, le terme *cuir* recouvrira les deux notions.

On distingue globalement les cuirs verts (dépouille brute n'ayant subi aucun traitement), les cuirs secs (dépouille séchée à l'ombre et tendue sur un cadre ou étalée sur une barre), les cuirs salés (dépouille traitée au sel additionné de 0,5 % de fluorure de soude, de silico-fluorure de soude, de naphthaline ou d'un dénaturant), les cuirs *arséniqués* (dépouilles immergées dans une solution de 0,5 % d'arséniate de soude), les cuirs *pickelés* (dépouilles traitées avec un mélange de sel et d'acide chlorhydrique).

Pour obtenir un cuir de qualité, il convient d'abord de disposer d'une matière première sans entailles (moins fréquentes lors d'usage de couteaux à extrémité arrondie), propre, sans affection cutanée (gale, streptothricose, démodécie, mycoses, abcès externes), correctement écharnée pour éviter les risques de putréfaction lors du séchage), désinsectisée. Immédiatement après la dépouille, le cuir est plongé pendant une demi-heure (un quart d'heure pour les peaux) dans une solution à 0,3-0,5 % d'arséniate de soude, assurant ainsi une protection supérieure à une année. On compte un litre de solution pour une peau et dix litres pour un cuir. La désinsectisation est assurée par des pulvérisations ou des bains insecticides. Le DDT autrefois utilisé n'est plus autorisé. Pour les cuirs secs collectés en brousse, on peut pratiquer une immersion ou une pulvérisation de solution arsenicale à 5 ou 10 %. Généralement, on compte 24 h de séchage pour une peau, 48 h pour un cuir (respectivement 48 et 60 h en saison humide).

Le stockage des cuirs doit être assuré dans un local aéré et régulièrement désinsectisé car les attaques par les insectes sont redoutées et fréquentes (dermestes, nécrobies, mites, etc.). Seuls les cuirs sans défaut sont considérés aptes au tannage.

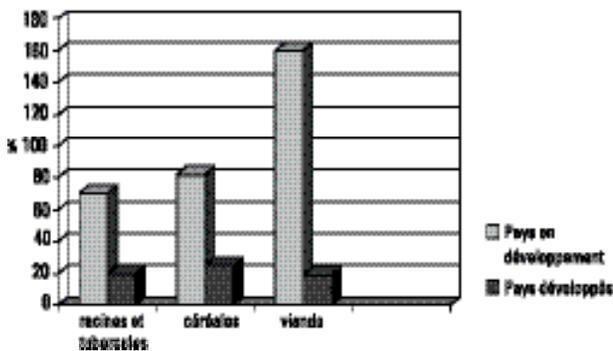
Certaines races sont réputées pour la qualité de leur cuir (bovin N'Dama) ou de leur peau (chèvre rousse de Maradi).

L'élevage et l'environnement

À partir d'une contribution de F. Besse (CIRAD)
et de B. Toutain (CIRAD)

L'ÉVOLUTION DE LA DEMANDE EN PRODUITS ANIMAUX

Dans les pays développés, déjà gros consommateurs de produits alimentaires d'origine animale, les prévisions de la demande font état d'un tassement dans les prochaines décennies. Mais dans les pays en développement, on peut s'attendre à un fort accroissement des besoins. C'est d'abord le résultat de l'augmentation prévisible très forte de la population dans ces parties du monde, mais aussi la conséquence de l'augmentation espérée des revenus et de l'important phénomène d'urbanisation en cours. Les habitudes de consommation des populations urbaines et l'évolution des goûts des consommateurs qui accompagne l'augmentation des revenus vont dans le sens de la substitution d'une partie des céréales par des aliments comme la viande, le poisson et le lait. Ainsi, l'accroissement attendu de la demande en viande dépasse de beaucoup celui en céréales.



► Figure 1 : Accroissement de la demande mondiale en produits alimentaires entre 1990 et 2020. Source IFPRI

Un tel accroissement de la demande en protéines animales dans les pays en développement va stimuler considérablement la production, mais celle-ci est liée à la disponibilité en ressources. La capacité de réponse à cette demande dépend des systèmes de production : ces dernières années, la production animale de type industriel a progressé deux fois plus vite que celle des systèmes de polyculture-élevage (4,3 % contre 2,2 % par an) et six fois plus que celle des systèmes extensifs sur pâturage (0,6 %). Il y a donc un progrès généralisé de l'élevage dans tous les systèmes de production, mais une tendance nette à l'intensification et l'industrialisation, ce qui signifie aussi que l'élevage dépend de façon croissante de l'agriculture et de son intensification.

L'ÉLEVAGE ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le développement prévisible de l'élevage va exercer des pressions croissantes sur les ressources. Face à cette évolution, il est indispensable d'associer le concept de développement durable aux finalités de l'élevage, à savoir la satisfaction des besoins alimentaires des populations et des autres besoins couverts par les productions animales. Cette préoccupation rejoint les objectifs de la *révolution doublement verte* : plus de production, mais plus propre et plus viable.

Le bétail domestique fait partie de l'environnement au même titre que les autres animaux : il a sa place dans les mécanismes de l'écologie et est assujéti aux mêmes lois biologiques. Mais du fait des interventions de l'homme en faveur des bêtes qu'il élève, certains jeux de régulation naturelle sont modifiés, ce qui peut conduire à long terme à des déséquilibres graves des écosystèmes.

Les modes d'élevage les plus simples sont complètement dépendants des ressources disponibles. Le nombre d'animaux élevés suit la quantité d'aliment utilisable. La disponibilité en fourrages et en produits alimentaires régule les capacités d'élevage, qu'il s'agisse du pâturage, de sous-produits agricoles ou agro-industriels, voire de surplus de l'alimentation humaine. Avec l'intensification et la sophistication des techniques de production, l'élevage cherche à obtenir la maîtrise de ces ressources et développe en amont une demande sur les matières premières, adoptant une logique de production industrielle : d'abord étroitement attaché au sol et dépendant de l'espace vivrier, il s'en émancipe de plus en plus dans les systèmes intensifs dits *hors-sol*.

Certes la domestication du bétail a ouvert incontestablement la voie à l'intensification de l'agriculture, base du développement économique et de l'expansion sans précédent de la population humaine. Les animaux d'élevage participent dans une certaine mesure aux équilibres environnementaux. Ils contribuent à l'entretien des paysages ouverts et des végétations herbacées, ils participent à la fertilisation organique des sols de culture grâce au fumier, ils réduisent les risques de feu de végétation dans les régions sèches.

Mais l'élevage exerce également un certain nombre de pressions sur l'environnement. Les effets directs sur la ressource et sur le milieu résultent de la consommation de l'animal et de diverses conséquences de la vie de l'animal telles que le piétinement, les déjections, les émissions de gaz, la transmission d'agents pathogènes, etc. Les conséquences environnementales indirectes des activités de production animale correspondent aux coûts énergétiques de fabrication et de transport d'aliments et aux pollutions des industries animales liés aux effluents d'abattoirs, de tanneries, etc. Enfin, dans certaines situations, il existe une compétition des animaux d'élevage avec la faune (grands mammifères en particulier) et avec l'homme pour certains aliments.

LES PRINCIPAUX IMPACTS DE L'ÉLEVAGE SUR L'ENVIRONNEMENT

Au niveau mondial, les problèmes environnementaux actuels ou futurs touchant les continents sont le réchauffement climatique lié à l'effet de serre, la perte de biodiversité, la désertification, la déforestation. S'y ajoute l'avenir des ressources naturelles telles que l'eau douce, l'énergie fossile et la terre arable. Par rapport à l'élevage, les sujets de préoccupation majeurs sont :

- > *la dégradation des terres par le surpâturage* dans les régions sub-arides. On constate les méfaits du surpâturage sur la végétation et le sol en Afrique tropicale (Sahel, Afrique australe), en Afrique du Nord (Maghreb), au Moyen-Orient, dans les parties sèches de la péninsule indienne, en Asie centrale ;
- > *la déforestation* : Amérique tropicale humide (Amérique centrale, Amazonie) ;
- > *la pollution des sols et de l'eau par les excès de nutriments* résultant de l'épandage des déchets animaux. Cela touche certaines régions localisées de l'Amérique du Nord, de l'Europe occidentale, de l'Asie tempérée (Chine, Japon, Corée) et de l'Asie du Sud-Est.

● **Le sol**

Les animaux interviennent physiquement sur le sol par le piétinement, et chimiquement par leurs déjections. Les effets indirects proviennent des modifications du couvert végétal par le pâturage, de l'emploi d'engrais pour la culture de fourrages ou d'aliments, de l'emploi de minéraux lourds en complément alimentaire qui se trouvent finalement incorporés au sol avec les lisiers. Les risques de dégradation ou, au contraire, les avantages écologiques concernent :

- > *les caractéristiques physiques* : ce sont la dégradation de la structure du sol, la baisse de stabilité structurale, le tassement superficiel (diminution de la porosité et de la vitesse d'infiltration de l'eau), l'érosion éolienne et hydrique ;
- > *les caractéristiques chimiques* : le pH, la capacité d'échange des cations, le taux de saturation du complexe, les teneurs en éléments minéraux tels que l'azote, le phosphore, le calcium, les oligo-éléments et les minéraux lourds ;
- > *les propriétés hydriques et la capacité de rétention en eau*, liées à l'état de la structure, à la teneur en matière organique et aux conditions de drainage ;
- > *l'activité biologique*, elle-même liée à la teneur organique et aux autres propriétés du sol. L'activité de la microflore et de la macrofaune du sol, généralement favorisée par l'élevage des ruminants, participe aux processus biochimiques de minéralisation.

● **Les eaux douces**

Elles regroupent les eaux de surface, telles que les rivières et les mares, et les eaux profondes, qu'il s'agisse des nappes superficielles, accessibles par des puits, ou profondes, extraites au moyen de forages. Les risques de dégradation de cette ressource concernent moins les disponibilités en eau et l'épuisement des nappes (les besoins en eau de boisson pour le bétail sont relativement modestes), que leur pollution chimique ou biologique par les déjections.

L'irrigation destinée à la production de fourrages et d'aliments pour le bétail contribue indirectement à l'épuisement des ressources en eau et, éventuellement, à leur pollution chimique à cause de la fertilisation. Les points d'abreuvement du bétail sont des lieux de concentration d'animaux susceptibles de présenter des risques de contamination et d'infestation par les parasites. On peut ajouter aussi les conséquences de la dégradation des berges de rivières sur l'ensablement du lit, le ralentissement du cours et les risques de crues. La pisciculture entre dans le cycle biologique des eaux de surface et contribue à leur purification.

● L'atmosphère

Elle est concernée par les émissions de gaz produits par l'élevage, essentiellement le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde d'azote. Ces émissions résultent de la respiration (CO_2) ou de la digestion (CH_4) des animaux, de la combustion de la savane ou de la forêt pour l'aménagement du pâturage (CO_2), de la combustion d'énergie fossile (CO_2) pour la fabrication d'aliments et pour le transport, de la fermentation d'effluents d'élevage et de l'épandage d'engrais sur les prairies (N_2O).

● La biodiversité

La dégradation de la végétation prend différentes formes :

- > diminution du couvert végétal, avec des conséquences liées à l'exposition du sol au soleil, à l'évaporation et à l'érosion ;
- > appauvrissement floristique des peuplements végétaux et disparition d'espèces rares ;
- > expansion de plantes envahissantes.

Cette dégradation est une composante de la désertification dans les zones semi-arides. Indirectement, la déforestation de certaines régions tropicales humides s'y rapporte aussi.

En ce qui concerne la faune, les activités humaines comme l'élevage modifient les habitats des animaux, vertébrés et invertébrés, et peuvent entraîner des changements de leur comportement ou de leur capacité de reproduction. Il faut noter que la concurrence entre ruminants domestiques et sauvages est souvent moins forte qu'on ne le croit généralement.

L'évolution de l'élevage et notamment son intensification met en péril l'existence de certaines races locales et même de certaines espèces adaptées à des milieux particuliers.

LES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Les risques environnementaux ou au contraire les bénéfiques pour l'environnement des activités d'élevage dépendent des types d'activités et en particulier des systèmes de production. Pour rester simple, les systèmes de production ont été distribués selon trois grandes catégories :

- > *l'élevage à l'herbe*, essentiellement sur prairies ou sur parcours des systèmes pastoraux ou en *ranching* ;
- > *l'élevage mixte*, partie des systèmes de polyculture et élevage ;
- > *l'élevage intensif* des systèmes industriels ou hors-sol (*industrial or landless systems*).

Tableau 1. Répartition de la production de viande dans le monde selon les différents systèmes de production

Système d'élevage	Toutes viandes		Viande de ruminants seulement	
	en milliers de tonnes	En %	en milliers de tonnes	En %
Agro-élevage	94 390	53,6%	41 100	65,7%
À l'herbe	15 270	8,7%	15 270	24,4%
Industriel	66 285	37,7%	6 155	9,9%

Source: Seré et Steinfeld, 1996.

● *L'origine socio-économique des dégradations*

Les systèmes d'élevage ne dégradent pas nécessairement l'environnement. Des mécanismes naturels compensent dans une certaine mesure les effets des pressions sur l'environnement induites par les animaux. Ils offrent même certains avantages écologiques. Mais des causes extérieures peuvent conduire à dépasser des niveaux tolérables ou à rompre les équilibres entre populations animales et ressources.

Par exemple, les prix élevés du bœuf, du porc et du lait en Union européenne, ainsi que les tarifs différentiels à l'importation des céréales et de leurs substituts, comme les farines de manioc et de patate douce, ont beaucoup encouragé l'importation de ces produits de substitution d'Asie du Sud-Est. Au début des années 90, l'épandage des déjections animales qui en ont résulté équivalait à un apport d'environ 15 kg N/ha/an sur les terres des pays importateurs, conduisant à des surcharges locales considérables des sols agricoles en nutriments. Sur les lieux de culture asiatiques, au contraire, on a observé la dégradation des sols par appauvrissement chimique et érosion.

Des indicateurs sont utiles pour percevoir l'état de l'environnement, mais la compréhension des causes premières des dégradations environnementales est nécessaire pour élaborer les réponses de nature sociale, économique et politique qui permettront d'y porter remède. Voici les grandes catégories de causes en question :

- > l'augmentation de la population humaine, l'élévation des revenus et l'urbanisation sont les principaux moteurs de l'accroissement de la demande en produits de l'élevage ;
- > la pauvreté de certains producteurs et l'avidité de certains autres les conduisent à négliger les efforts ou les frais pour préserver l'environnement ;
- > l'ignorance des mécanismes écologiques ou des conséquences environnementales de certaines pratiques conduisent à des interventions maladroites ;
- > la faiblesse des institutions maintient un flou sur les responsabilités vis-à-vis des ressources et entraîne une application insuffisante des réglementations ;
- > des infrastructures inadaptées favorisent la concentration des animaux ou à l'inverse facilitent l'accès à des écosystèmes fragiles menacés ainsi de dégradation ou de destruction ;
- > les politiques de prix, de taxation et de subvention ont une grande influence sur les décisions des agents des filières de production animale. Des politiques inadéquates peuvent avoir des conséquences indirectes importantes sur l'environnement.

● **Les étapes de la maîtrise des risques**

Une première étape consiste à confectionner un “ tableau de bord “ environnemental suffisamment objectif, précis et fiable et de le rendre disponible pour tous ceux qui en ont besoin. Etablir des indicateurs pertinents, mettre en place des dispositifs de suivi environnemental, recueillir et conserver les données utiles, analyser les évolutions sur le long terme : telles sont les tâches nécessaires pour fournir aux décideurs les éléments techniques qui leur permettent d'élaborer leur stratégie. Le rôle des scientifiques en amont des choix politiques s'affirme de plus en plus ; il suppose une excellente communication entre les scientifiques et les politiques, donc une pédagogie et une nécessaire adaptation de l'expression des résultats scientifiques aux utilisateurs.

Un éventail de moyens est alors à la disposition de ceux qui ont la responsabilité des politiques d'élevage et des filières de production. Ces moyens sont de nature politique et technologique.

L'information et la formation, en assurant le transfert des connaissances, accélèrent les processus de prise de conscience des risques environnementaux, d'adoption de techniques écologiquement acceptables et d'application de politiques prenant en compte l'environnement dans la production. Le changement d'attitude des producteurs et des utilisateurs des produits animaux repose sur les services de recherche, de vulgarisation et d'information des consommateurs. Un certain nombre de techniques innovantes sont connues. Le contexte sociologique et le cadre réglementaire doivent en favoriser l'utilisation.

● **Les options selon les systèmes d'élevage**

Pour chacun des principaux systèmes d'élevage, il existe un certain nombre d'axes stratégiques identifiés pour réduire les impacts environnementaux négatifs et favoriser la préservation de l'environnement et des ressources.

● **Les systèmes d'élevage à l'herbe**

Le surpâturage est l'un des principaux risques environnementaux liés à l'élevage extensif de ruminants, dû à une fréquentation excessive des espaces pâturés par rapport à leur capacité de production naturelle. Il entraîne toutes sortes de désordres écologiques :

- > dégradation de la végétation (disparition d'espèces, envahissement par les mauvaises herbes), dénudation du sol, compactage en surface et accroissement de l'érosion en milieu semi-aride ;
- > embroussaillage des savanes et des prairies, dégradation des habitats de la faune en région tropicale sub-humide ;
- > déforestation pour l'établissement de prairies, introduction d'espèces fourragères envahissantes, en particulier dans les milieux insulaires, en régions tropicales humides ;
- > feux de savane et de forêt qui libèrent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et contribuent à l'accroissement de l'effet de serre.

Mais cette forme d'élevage permet également une valorisation économique de vastes espaces naturels et contribue à leur entretien et à leur sauvegarde, au même titre que la foresterie. Le bétail permet certaines formes de gestion de la végétation herbacée, qui contribuent parfois à la préservation de la biodiversité, tant de la flore que de la faune. Elevage extensif et faune cohabitent généralement assez bien, même s'il existe certains conflits liés à la prédation par les fauves, à la transmission de maladies, à la compétition pour le fourrage, à la chasse etc.

Les orientations susceptibles de réduire les dégradations diffèrent selon les systèmes pastoraux.

● **Systèmes pastoraux en milieux arides et semi-arides**

- > ne pas favoriser l'intensification des systèmes de production animale ;
- > renforcer la mobilité (transhumance) et favoriser la flexibilité des systèmes pastoraux en développant les projets d'hydraulique pastorale, en favorisant l'usage et la sélection des races locales adaptées, en améliorant les infrastructures (routes et marchés) pour faciliter l'écoulement des produits, en régénérant les pâturages (ménager des périodes de repos, sursemmer des espèces fourragères) ;
- > créer ou renforcer les institutions pastorales capables de gérer les ressources en décentralisant les pouvoirs de décision, en renforçant les droits coutumiers des utilisateurs des ressources, en appuyant les mécanismes de résolution des conflits ;
- > concevoir des plans d'urgence en cas de sécheresse et mettre en place des dispositifs de gestion des sécheresses ;
- > développer des politiques incitatives pour l'exploitation durable des ressources en instaurant éventuellement des droits d'accès payants aux ressources communes et en recouvrant les coûts réels des services (eau, soins vétérinaires) ;
- > développer la recherche en proposant des indicateurs de suivi des ressources, en étudiant en profondeur les institutions pastorales, les motivations réelles des éleveurs et les blocages.

● **Systèmes pastoraux en milieu tropical sub-humide**

Les orientations précédentes peuvent être complétées par les suivantes :

- > impliquer les communautés dans la gestion des ressources cynégétiques et des aires protégées ;
- > choisir des méthodes écologiques de contrôle des vecteurs de maladies (mouches, tiques) ;
- > développer les cultures fourragères.

● **Systèmes pastoraux en régions de forêts tropicales humides**

- > décourager la construction de routes ;
- > établir des zones protégées ;
- > fiscaliser les terres de pâturage pour décourager la déforestation ;
- > encourager les élevages d'espèces animales non conventionnelles adaptées.

● **Les systèmes d'élevage agropastoraux**

Les systèmes associant les cultures et le bétail permettent la maîtrise d'une partie de l'alimentation des animaux. Des complémentarités et des échanges à bénéfice réciproque existent entre les productions animales et végétales : valorisation des sous-produits et déchets végétaux, énergie animale, production de fumier, diversification des revenus et diminution des risques. La part de fourrages et des autres aliments produits ou achetés pour le bétail augmente avec le niveau d'intensification de l'élevage. Les conséquences de l'élevage sur l'environnement dépendent du niveau de densité animale et d'intensification du système.

● **Sols déficients en nutriments**

Dans de telles situations, l'élevage offre globalement plus d'avantages environnementaux que d'inconvénients par :

- > le maintien de la fertilité du sol, en liaison avec l'apport de matière organique par les déjections et le fumier ;
- > l'apport ou la restitution d'éléments fertilisants : dans le monde, 22 % des engrais azotés et 38 % des engrais phosphatés sont d'origine animale. Les pertes en éléments fertilisants sont inférieures dans les exploitations avec élevage que dans celles sans élevage ;
- > l'aide à l'agriculture grâce à la traction animale, pour le labour et le transport surtout, ce qui représente une alternative peu onéreuse à la motorisation, sans consommation d'énergie fossile ;
- > l'intégration de l'élevage dans les schémas d'utilisation des terres et la construction des paysages : arbres fourragers intégrés dans les systèmes agroforestiers et les haies, cultures fourragères cultivées pures ou en association comme plante de couverture du sol ;
- > le maintien de la microflore et de la faune du sol (insectes, vers...) qui transforment la matière organique dans le sol et participent au recyclage des éléments fertilisants.

Dans cette situation, les options favorables à l'environnement sont les suivantes :

- > intégrer l'élevage dans les systèmes de production agricole pour accroître la restitution de nutriments au sol grâce à l'élevage ;
- > améliorer la production de fourrages : développer les cultures fourragères, introduire l'usage des arbres et arbustes fourragers, enrichir les aliments pour animaux (par exemple par traitement des pailles à l'urée), favoriser l'utilisation des résidus agricoles et agro-industriels pour alimenter les animaux ;
- > améliorer l'efficacité de la production animale en améliorant les races animales et en apportant des complémentations alimentaires adaptées ;
- > favoriser les échanges des produits et des intrants.

● **Sols excédentaires en éléments nutritifs**

À partir d'un certain niveau d'intensification de l'élevage, l'apport au sol d'éléments fertilisants est excédentaire par rapport aux besoins de l'agriculture. On se trouve en situation de surplus de nutriments. Cela provient de l'importation excessive d'aliments dans l'exploitation.

Cette situation aboutit à terme à la pollution des terres et des eaux par les déjections et déchets de l'élevage. Cette situation se développe surtout pour les systèmes industriels.

Voici quelques options environnementales proposées :

- > introduire des mesures réduisant les excédents d'éléments minéraux dans les sols : taxer les engrais chimiques, l'importation d'aliments pour animaux, créer des incitations aux pratiques équilibrant les activités d'agriculture et d'élevage, instaurer des quotas de fumier à épandre sur les terres agricoles ;
- > améliorer les techniques de production, les formules d'aliments, les races animales, développer les cultures fourragères associant graminées et légumineuses, associer plusieurs espèces animales sur les pâturages ;
- > réduire les causes de pollution en améliorant le stockage et la manipulation du fumier.

L'augmentation de la pression démographique conduit dans certains cas à la diminution de la taille des exploitations agricoles et des disponibilités fourragères, au point que l'équilibre apporté par l'élevage, tant environnemental qu'économique, disparaît. Cette situation survient en particulier dans les zones d'altitude des régions tropicales.

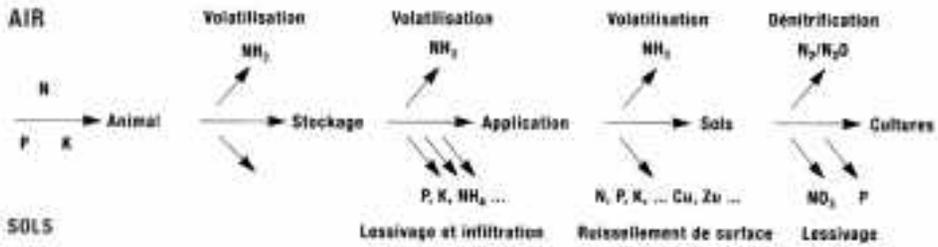
● Les systèmes d'élevage industriels

L'élevage intensif, qu'il soit de ruminants ou d'animaux monogastriques, a un impact direct sur le sol, l'air et l'eau par ses effluents. Les porcs et les volailles ne fixent que 30 à 35 % de l'azote et du phosphore ingéré, le reste est excrété dans les déjections. Les fumiers, lisiers et purins libèrent de l'ammoniac, avec des effets toxiques et acidifiants. Le peroxyde d'azote NO_x qui se forme au cours du processus de dénitrification est un gaz à effet de serre particulièrement nocif (320 fois plus que le CO_2), les nitrates s'infiltrant dans les eaux de surface et contribuent à l'eutrophisation de l'eau et à l'appauvrissement de la diversité biologique dans les écosystèmes voisins. La décomposition anaérobie du lisier stocké sous forme liquide libère aussi d'abondantes quantités de méthane dans l'atmosphère s'il n'est pas récupéré comme gaz combustible pour l'énergie domestique.

Les métaux lourds ajoutés aux aliments concentrés pour les porcs et les volailles, comme le cuivre et le zinc, sont en partie excrétés et s'accumulent dans les sols sur lesquels les effluents sont épandus.

Les besoins en énergie dans ces systèmes correspondent surtout à la production, à la transformation et au transport des aliments. Ils sont en grande partie couverts par des combustibles fossiles. S'y ajoutent aussi le transport et le traitement des effluents. Le méthane produit par le fumier peut toutefois être récupéré comme source énergétique en le faisant passer dans un digesteur.

L'élevage intensif a aussi des effets pervers sur la biodiversité : la nécessité de produire les aliments pour le bétail suppose une extension et une intensification de l'agriculture, qui risque de contribuer à la dégradation des écosystèmes. La production de déchets entraîne la détérioration des écosystèmes terrestres et aquatiques. L'uniformisation des races à haut rendement favorise l'appauvrissement du patrimoine génétique des espèces domestiques.



► **Figure 2 : Pertes éventuelles de minéraux contenus dans les déjections, entre l'excrétion et l'absorption par les cultures**

En contrepartie, l'élevage industriel, du fait de son efficacité, est moins consommateur d'espace que les autres systèmes de production et permet d'économiser certaines ressources naturelles et certaines populations sauvages (par exemples de poissons et de coquillages). Le développement rapide des techniques permet de réduire les besoins alimentaires des animaux ou de mieux gérer les déchets et les effluents.

Les industries animales telles que les abattoirs, les laiteries ou les tanneries posent des problèmes environnementaux, le plus important concernant le traitement des eaux usées (nettoyage et traitements agro-industriels) et des déchets.

Voici les recommandations actuelles :

- > réduire les causes de pollution et les pertes en nutriments des fumiers. Pour cela, stocker le fumier solide afin de réduire les pertes gazeuses, les lisiers en récupérant les gaz par passage dans des digesteurs, et les déjections dans des réservoirs enterrés et couverts ; réduire les pertes d'éléments nutritifs lors de l'épandage des fumiers (enfouissement) ; construire si possible des unités collectives de traitement des déchets ;
- > réglementer et faire respecter la réglementation : instaurer des quotas de fumier à épandre sur les terres agricoles, établir le zonage des implantations d'élevages industriels, internaliser les coûts environnementaux dans les prix à la consommation ;
- > mettre en place des incitations financières : taxation des émissions de gaz et des pollutions, suppression des subventions à l'importation d'aliments concentrés ; suppression des restrictions à l'importation des adjuvants alimentaires qui améliorent l'efficacité digestive des aliments, subvention des investissements dans les systèmes de contrôle des émissions gazeuses, instauration de quotas de production d'effluents et de déchets ;
- > améliorer les techniques de production en évaluant avec précision les besoins en azote et en phosphate des animaux pour ajuster les rations aux besoins, en favorisant les techniques d'alimentation qui régulent les apports d'aliments, en augmentant la digestibilité des aliments.

LES OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION

● Les indicateurs

Les indicateurs environnementaux ont pour objet de quantifier des informations complexes et de les simplifier pour les rendre accessibles à un large public. Le manque d'évaluation objective de l'état actuel des ressources est l'une des principales raisons du flou qui entoure actuellement le débat sur les interactions entre l'élevage et l'environnement.

Il existe diverses façons d'utiliser les indicateurs. Ils peuvent servir à effectuer un suivi en comparant les évolutions dans le temps. C'est ainsi que l'on suit par exemple l'état du couvert végétal dans une région pastorale. On peut aussi se référer à des valeurs seuils, limites au-delà desquelles le problème environnemental est considéré comme préoccupant (par exemple la teneur maximum tolérée en nitrate de l'eau potable ou la teneur en pesticides dans les produits végétaux).

Les indicateurs n'ont pas toujours une valeur universelle. Ils doivent être choisis en fonction du contexte étudié, tant éco-climatique que socio-économique. Leur pertinence dépend aussi de l'échelle d'étude.

La mesure des indicateurs fait appel tantôt à des mesures de laboratoire, tantôt à des évaluations de superficies qui peuvent s'appuyer sur la télédétection, tantôt à des mesures ou enquêtes de terrain.

Les sources d'information et de débat

Une démarche conjointe a été entreprise par divers bailleurs de fonds (Banque mondiale, diverses agences de coopération bilatérale) et par la FAO. Elle vise à établir un bilan des interactions entre l'élevage et l'environnement puis à orienter les décisions des responsables des politiques agricoles et du développement de l'élevage. C'est l'initiative élevage environnement et développement (IEED), en anglais *Lead initiative* (Livestock, environment and development).

Cette initiative met à la disposition des décideurs politiques et des responsables du développement divers outils, de façon à rendre accessible l'essentiel de l'information sur les interactions entre l'élevage et l'environnement et à faciliter les choix stratégiques et les prises de décision. Ces outils sont :

– la boîte à outils environnementale pour l'élevage (*livestock environment toolbox*). Son support est un site Internet consultable à l'adresse suivante : <http://lead.virtualcentre.org/fr/dec/Toolbox/homepage.htm>. Elle existe aussi sous forme de cédérom, soit en anglais, soit en français (Boîte à outils élevage environnement)¹. Elle renseigne sur les principaux impacts environnementaux selon les systèmes d'élevage et sur leurs causes. Elle précise les avantages et les conditions d'emploi de diverses technologies. Elle présente diverses options politiques et institutionnelles pouvant avoir des conséquences environnementales favorables ;

– le centre virtuel sur les interactions entre l'élevage et l'environnement, est un site Internet sur le sujet, coordonné par la FAO : <http://lead.virtualcentre.org/selector.htm>. La version française du site, appelée plate-forme francophone du centre virtuel, a été créée avec l'appui du ministère français des Affaires étrangères. En voici l'adresse : <http://lead.virtualcentre.org/fr/frame.htm>. C'est un lieu de convergence de données et d'informations sur les expériences, les réglementations, les pratiques, les personnes ressources se rapportant au sujet. Il est aussi un lieu de débat à l'occasion de forums et de conférences électroniques, d'animations pour favoriser la prise de conscience des administrateurs, cadres et professionnels de l'élevage, notamment dans les pays en développement, et pour les aider à prendre en compte les enjeux environnementaux dans leurs décisions.

1 À demander soit à la FAO (AGAD) à Rome, soit au CIRAD-EMVT à Montpellier.

Bibliographie

- BRANDJES P.J., DE WIT J., VANDER MEER H.G., VAN KEULEN H., 1996. *Environmental impact of manure management*. In : *Livestock and the environment, finding a balance*. International Agricultural Centre, Wageningen, The Netherland, 45 p.
- DE HAAN C., STEINFELD H., BLACKBURN H., 1997. *Elevage et environnement. À la recherche d'un équilibre*, 115 p. [Commission européenne, FAO et Secrétariat d'Etat à la coopération pour la version française].
- SERÉ C., STEINFELD H., 1996. *World livestock production systems : current status, issues and trends*. Animal production and health paper N° 127. FAO, Rome.
- STEINFELD H., DE HAAN C., BLACKBURN H., 1997. *Interactions entre l'élevage et l'environnement. Problématiques et propositions*, 56 p. [Commission européenne, FAO et Secrétariat d'Etat à la Coopération pour la version française].

La gestion des animaux et des troupeaux

À partir d'une contribution de D. Richard (CIRAD)

LES PRINCIPES DE L'AMÉLIORATION DE LA GESTION DES TROUPEAUX

● *Le cadre général de l'amélioration*

La grande diversité des performances observées dans les troupeaux des régions chaudes, quelle que soit l'espèce, montre qu'il existe une variabilité qui peut être analysée, puis utilisée pour proposer des voies d'amélioration de la productivité

D'autre part, un certain nombre d'essais en alimentation et dans le domaine sanitaire indiquent que, dans de bonnes conditions de production, les performances zootechniques peuvent être élevées, la croissance des jeunes rapide, les pertes par mortalité réduites au minimum, comme le montrent les données du tableau 1.

Tableau 1. Exemples de diversité des performances

Type d'animal	Indicateur de performance	Conduite et interventions	Valeur de l'indicateur
Zébu Gobra 1-2 ans	GMQ sur l'année	conduite traditionnelle sur parcours	200 - 300 g
		complément alimentaire	350 - 500 g
		apport en aliments complets équilibrés	700 - 900 g
Zébu	Taux de fertilité	conduite traditionnelle sur parcours	45 - 55 %
		complément alimentaire	70 - 80 %
Ovins djallonké 0-6 mois	Taux de mortalité	conduite traditionnelle sur parcours	20 - 40 %
		vaccination PPR anthelmintique	10 - 15 %
		vaccination PPR anthelmintique; conduite sur parcelle et complément alimentaire	2 - 5 %

GMQ : gain moyen quotidien (voir chapitre 61)

Le diagnostic des conditions actuelles de production, notamment en conduite extensive, révèle des limites importantes dues à la pathologie et à l'insuffisance des apports alimentaires pendant une partie variable de l'année. L'amélioration des productions passe d'abord par le respect de la physiologie des animaux, puis par l'utilisation de techniques particulières (rationnement, biotechnologies de la reproduction, méthodes d'amélioration génétique).

Les pratiques des éleveurs influencent la productivité des troupeaux ; les améliorations doivent être proposées en fonction des grands systèmes de production,

comme le montrent par exemple les recommandations en santé faites pour les petits ruminants dans trois régions du Sénégal, où les actions médicales ont été différenciées selon les principaux types d'élevage et les zones climatiques. À l'échelle d'une petite région de production, les recommandations peuvent être ciblées de façon plus précise sur des groupes d'éleveurs identifiés par les typologies, comme ce qui a été proposé dans une communauté rurale du Sénégal avec des actions définies en fonction des effectifs ovins et des objectifs des éleveurs. Il s'agit donc, après analyse des pratiques, d'établir des conseils, propres à un type d'élevage, sur le mode de conduite et de gestion du troupeau.

L'amélioration de la productivité des troupeaux doit correspondre à un objectif zooteknique clairement identifié résultant d'un diagnostic. Cet objectif peut être d'augmenter la productivité numérique (par une diminution de la mortalité ou une amélioration des performances de reproduction), d'augmenter les performances de croissance, de production laitière, etc. Plusieurs objectifs peuvent être associés, par exemple une meilleure reproduction et une meilleure croissance des jeunes.

À chaque objectif de production doivent correspondre des propositions techniques concernant la santé ou l'alimentation ou la génétique, etc.

Pour chaque aspect technique, il faut aussi considérer les facteurs socio-économiques : évaluation du coût et du bénéfice pour le producteur, prise en compte des implications en termes d'organisation des marchés et d'appui éventuel à des organisations d'éleveurs.

● ***L'amélioration de la productivité : conditions physiologiques***

● **La santé**

Un animal doit être en bonne santé pour extérioriser ses performances. Toute maladie atteint l'intégrité de l'organisme et perturbe plus ou moins les capacités de production.

Les maladies, généralement classées en trois grands types (infectieuses, parasitaires et métaboliques), sont connues et le plus souvent bien analysées dans leurs causes et manifestations. Elles peuvent être facilement identifiées, ce qui est le cas des maladies infectieuses causées par un virus (peste des petits ruminants, peste porcine, etc.), une bactérie (charbon bactérien, etc.), de certaines maladies parasitaires (trypanosomoses, etc.), plus rarement des maladies métaboliques (à l'exception des carences importantes en oligo-éléments).

Mais certaines affections peuvent être très difficiles à diagnostiquer, soit par un manque de symptômes caractéristiques, soit par des causes multiples qui en se conjuguant entraînent une pathologie difficile à attribuer à une cause précise. Les maladies parasitaires sont souvent peu caractéristiques dans leur symptomatologie, entraînant une dégradation de l'état général qui limite les performances de reproduction. Les maladies respiratoires des petits ruminants sont souvent d'origine complexe, avec une succession d'infections en elles-mêmes peu graves qui peuvent faire le lit d'une forme pathologique plus importante lorsque l'état général de l'animal est diminué. Ces affections délicates à diagnostiquer doivent faire l'objet d'enquêtes qui prennent en compte les pratiques des éleveurs, comme le mode de logement nocturne des caprins qui les protège plus ou moins des effets du vent et du froid.

Pour toutes ces maladies, savoir poser un bon diagnostic est nécessaire afin d'identifier les moyens utiles avant d'intervenir sur un animal ou, dans le cas d'un foyer, de prendre les mesures médicales et sanitaires adéquates.

Il existe bon nombre de moyens pour améliorer la santé des animaux. En régions chaudes, la voie principale pour protéger les animaux est la prévention, du fait de la capacité financière limitée des éleveurs. Les grandes campagnes de vaccination permettent de protéger suffisamment d'animaux pour limiter les foyers et, à terme, d'aboutir à éliminer la maladie comme cela a été le cas pour la peste bovine en Afrique de l'Ouest. Ce sont principalement les maladies infectieuses qui font l'objet de campagnes de prophylaxie.

La prévention peut s'appliquer à d'autres maladies. L'utilisation d'insecticides et d'acaricides peut protéger les animaux en limitant les populations d'insectes piqueurs, de tiques et les risques de transmission. Dans certains cas, l'administration d'un médicament peut parfois protéger les animaux de manière temporaire : certains éleveurs font ainsi administrer des trypanocides lorsqu'ils conduisent leurs troupeaux au pâturage dans des zones qu'ils savent infestées de glossines et où le risque trypanosomien est élevé.

Les autres moyens de lutter contre les affections sont d'ordre curatif. Il s'agit d'administrer à l'animal malade un médicament qui va lutter contre l'agent responsable de l'affection. C'est la principale voie de lutte contre les maladies parasitaires. C'est également le cas pour un certain nombre de maladies infectieuses telles les mammites dans les élevages laitiers intensifs, ou les inflammations et abcès des pieds chez les animaux de trait. Au-delà du soin curatif et individuel, ce type d'intervention doit faire l'objet d'une prévention par une amélioration de l'hygiène générale de la traite et du logement et par des interventions telles que la taille des sabots. Cette prise en compte de l'hygiène est de plus en plus souvent nécessaire.

Prévention et traitement curatif peuvent aller de pair comme cela se fait pour les parasitoses gastro-intestinales lorsque les animaux sont traités en début d'infestation, alors qu'ils n'extériorisent pas de symptôme. L'objectif est de donner un médicament qui va éliminer les nouveaux parasites et éviter le développement d'une pathologie. Il faut alors bien choisir les époques de traitement pour être efficace.

● L'alimentation

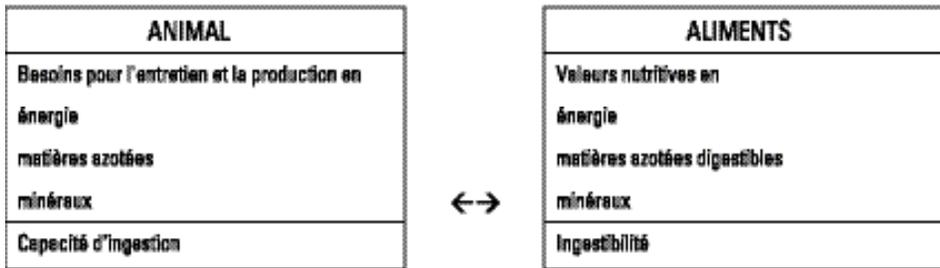
Le respect des besoins énergétiques, azotés, minéraux et vitaminiques des animaux permet d'obtenir des performances optimales. Ces besoins correspondent aux dépenses physiologiques indispensables pour l'entretien et les productions (croissance, engraissement, lait, travail).

La quantité et la qualité des aliments conditionnent en grande partie les productions animales. Les aliments apportent, en effet, une part plus ou moins importante d'énergie, de matières azotées et de minéraux nécessaires aux animaux. Selon l'importance de ces apports, l'animal satisfait dans un premier temps ses besoins d'entretien et dans un second temps ses besoins de production (lait, croissance, engraissement, force de travail).

Quel que soit le mode de production, extensif ou intensif, il est nécessaire de raisonner soit les apports de la végétation naturelle avec ou sans complémentation, soit des

rations complètes comprenant une ration de base faite de fourrages ou d'aliments de lest et un complément assurant une grande partie de la production.

Pour cela, les quantités d'aliments à distribuer doivent être calculées pour correspondre aux besoins des animaux connus à partir des tables de recommandations. Les besoins correspondent aux dépenses faites par l'animal. La figure 1 schématise cette démarche en considérant les points nécessaires pour le calcul des rations.



► Figure 1 : Relations entre l'animal et les aliments, et correspondances entre besoins et apports

Les besoins correspondent aux dépenses faites par l'animal. Ils varient selon les productions demandées par l'éleveur à ses animaux. Lorsqu'une brebis ou un animal de trait est au repos, sans gagner ni perdre de poids, ce qui correspond à l'entretien, les besoins sont minimaux. À l'opposé, au pic de lactation ou en période intensive de travail, ils sont maximaux. Ces variations sont évaluées par le niveau de production qui est le rapport entre les besoins totaux et les besoins d'entretien.

Deux niveaux de besoins doivent donc être toujours distingués :

- > *les dépenses d'entretien*, qui correspondent au fonctionnement métabolique minimal pour maintenir l'organisme en état, c'est-à-dire à poids constant, que ce soit en système extensif sur parcours ou en système intensif en stabulation. Cela comprend les dépenses pour le métabolisme de base, pour la consommation et la digestion des aliments et pour les déplacements ou la stabulation ;
- > *les dépenses de production* qui correspondent à la production de lait pour une brebis en lactation, à la synthèse des tissus du fœtus lors de la gestation, à la croissance musculaire chez les agneaux, aux dépôts de graisse chez les animaux adultes, au travail fourni lors des travaux agricoles pour un bœuf ou un cheval.

Il y a donc des besoins d'entretien et de production, les seconds s'ajoutant aux premiers. L'entretien est une fonction vitale pour l'animal. Si l'éleveur demande plus que l'entretien, l'animal peut assurer cette production :

- > soit par un surplus d'énergie, de matières azotées, etc. apporté par les aliments ;
- > soit en utilisant ses réserves (graisses essentiellement) si les apports de la ration sont insuffisants. Dans ce cas, l'animal maigrira, ce qui n'est pas recommandable sauf stratégie particulière.

Dans les régions chaudes, la consommation de matière sèche peut être un des principaux facteurs limitants de l'alimentation des ruminants. C'est un point essentiel de l'alimentation souvent sous-estimé dans les zones méditerranéennes et tropicales.

Les fourrages disponibles dans les régions intertropicales sont riches en parois ou fibres du fait de leur nature et de leurs conditions de croissance (chaleur, humidité). Ces fortes teneurs en constituants pariétaux (cellulose, hémicellulose, lignine) vont limiter la consommation des animaux et en conséquence la production permise par ces fourrages.

En zone tropicale, les insuffisances d'apports alimentaires sont fréquentes et conduisent parfois à des carences entraînant une pathologie. Les fourrages sont souvent insuffisants en énergie, en azote et en phosphore.

● **Les techniques d'amélioration**

Les principes bio-techniques de l'amélioration de la productivité animale reposent sur la santé, le rationnement, les biotechnologies de la reproduction et la génétique. La santé animale est traitée dans le chapitre 66.

● **Le rationnement**

Le rationnement consiste à établir des rations par calcul des quantités d'aliments de valeurs nutritives connues (extraites de tables des aliments) qui permettent d'assurer les besoins des animaux pour une production donnée, besoins connus à partir de tableaux de recommandations. Le but est d'obtenir une ration équilibrée qui satisfasse les besoins des animaux.

Le rationnement se fait en général à partir d'une ration de base, faite de fourrage ou d'un aliment de lest, qui couvre l'entretien et un minimum de production. La ration de base doit être complétée par un complément simple ou composé qui équilibre l'ensemble de la ration par rapport aux besoins de l'animal. Avec deux aliments, le calcul de la ration est simple. Au-delà de deux aliments, il faut fixer une quantité de l'un d'eux ou de plusieurs, avant de calculer la composition du complément. Il existe aujourd'hui des logiciels qui permettent de calculer les rations à partir d'un grand nombre d'aliments. Toutefois, même avec ce type d'outil, il est indispensable de connaître les bases du rationnement et de savoir raisonner les différents apports et les différentes teneurs en énergie et en matières azotées des aliments.

Les calculs se font toujours pour l'énergie et les matières azotées. Il est alors vérifié si l'animal peut consommer la quantité de matière sèche résultant des calculs. Les apports en minéraux sont ensuite ajustés ; leur encombrement est faible et l'apport supplémentaire en matière sèche pourra être consommé par l'animal.

Il est toujours plus facile de faire les calculs de ration par rapport à la matière sèche. En fin de calcul, les quantités d'aliments sont calculées par rapport aux poids bruts qui seront distribués dans la réalité.

À partir des besoins calculés pour l'énergie et l'azote, il peut être utile de calculer la concentration moyenne nécessaire soit pour la ration, soit pour le complément en MAD/UFL, soit en PDI/UFL¹. Cela permet de savoir quel type d'aliment et donc de complément est le plus proche de ce rapport et peut être incorporé.

¹ MAD : matière azotée digestible ; PDI : protéines digestibles dans l'intestin ; UFL : unité fourragère lait.

Le rationnement se fait donc par étapes :

- > *la première* consiste à formuler l'objectif de production, puis à extraire des tableaux de recommandations les besoins de l'animal. Exemple: obtenir une production de 3 kg de lait au cours du troisième mois de lactation pour une vache de 300 kg entretenue sur parcelle de riz. Cela permet de calculer les besoins en énergie (5,2 UFL) et en matières azotées (440 g MAD) et de calculer le rapport MAD/UFL. L'objectif de production de cette première étape peut être formulé pour un lot d'animaux, à la condition que tous les individus soient à un même stade physiologique, donc avec des besoins très proches. Par exemple, le calcul peut être fait directement pour un lot de béliers en croissance d'un poids initial de 20 kg, ou pour une paire de bœufs, ou pour un lot de vaches à un même stade de lactation. Dans ce cas, la suite des calculs porte sur le lot d'animaux ;
- > *la seconde étape* est l'inventaire des aliments disponibles, qui doit permettre de juger rapidement de l'intérêt et des limites de la ration de base et des sous-produits utilisables. Pour l'exemple de la vache en lactation cité ci-dessus, en zone de périmètre irrigué, la ration de base sera constituée de paille de riz, les sous-produits disponibles comprennent des sons et issues de riz, du tourteau d'arachide artisanal et de la graine de coton. La ration de base est d'une teneur faible en matières azotées, les autres aliments en sont bien pourvus pour certains et devraient permettre de calculer facilement un complément équilibré ;
- > *la troisième étape* comporte le calcul des apports de la ration de base et des déficits en UFL et MAD par rapport à l'objectif fixé. La ration de base doit être fixée : dans l'exemple cité, on estime que la vache consommera 4,5 kg de MS de paille de riz soit des apports de 2,3 UFL et 13,5 g de MAD. Les déficits par rapport aux besoins totaux sont de 2,9 UFL et 42,7 g de MAD ;
- > *la quatrième* porte sur le jugement du déficit, l'appréciation des aliments disponibles et le calcul du complément. Dans le cas décrit ci-dessus, le déficit est important pour l'énergie et les MAD. Pour le combler, il faudrait distribuer environ 3 kg de MS. Sur la base d'un apport de 3 kg de MS, on aboutit à des teneurs de l'ordre de 1 UFL et 150 g de MAD/kg, qui peuvent être obtenues par un mélange de tourteau d'arachide et de farine basse de riz. Cet exemple est développé de façon plus complète dans le chapitre 71 ;
- > *la dernière étape* est le calcul des quantités d'aliments bruts à distribuer aux animaux.

La démarche peut être résumée de la façon suivante :

- 1 - Objectifs de production, d'où besoins (extraits des recommandations) en UFL, en MAD ou PDI, en minéraux - Quantité ingérée, d'où UFL et MAD (ou PDI) ;
- 2 - Inventaire des aliments disponibles ;
- 3 - Choix des aliments : ration de base, complément ;
- 4 - Calcul de la ration ;
- 5 - Prévission des quantités d'aliments bruts à distribuer par jour, par stade de lactation, par saison, par durée de l'engraissement...
- 6 - Calcul du coût du kilo d'aliment distribué et de la ration quotidienne.

● Techniques et biotechnologies de la reproduction

La maîtrise de la reproduction peut s'appuyer sur des biotechnologies qui sont l'insémination artificielle, le transfert embryonnaire, le clonage, etc., ainsi que sur des traitements hormonaux. Ces différentes techniques permettent de maîtriser le métabolisme hormonal des femelles et d'assurer une fécondation avec des semences de mâles sélectionnés ou le développement d'un fœtus provenant d'animaux à haut potentiel génétique.

● *L'insémination artificielle*

L'insémination artificielle consiste à récolter du sperme de géniteurs mâles, à le mettre dans un milieu de conservation, à le diluer plus ou moins, à le fractionner, à le conserver éventuellement, et à l'injecter dans les voies génitales de femelles.

Les avantages de cette technique sont importants sur le plan génétique. L'éleveur peut utiliser de la semence de taureaux améliorateurs qu'il ne peut pas acquérir. Sous les tropiques, il peut procéder à des croisements avec des races étrangères sans avoir à maintenir des taureaux de race pure dans des conditions climatiques et sanitaires difficiles. L'insémination artificielle permet d'utiliser à large échelle les taureaux améliorateurs. De nombreuses femelles inséminées par ces taureaux diffusent le progrès génétique. En Europe, la méthode a permis une forte augmentation de la production laitière individuelle. Les avantages économiques sont évidents, puisque l'éleveur n'a plus à acheter et à entretenir de taureaux et que la valeur de sa production est améliorée.

Des avantages sanitaires existent également. Ils ont assuré le succès initial de l'insémination, en permettant la lutte contre les maladies vénériennes (transmises surtout lors de l'accouplement) et contagieuses. Aujourd'hui, les contrôles médicaux des géniteurs et les modalités de prévention d'un certain nombre de maladies infectieuses font que les risques de transmission d'affections sont très faibles.

Il existe cependant des contraintes qui peuvent limiter l'intérêt et le développement de l'insémination artificielle. Elles sont d'ordre biologique, organisationnel et économique.

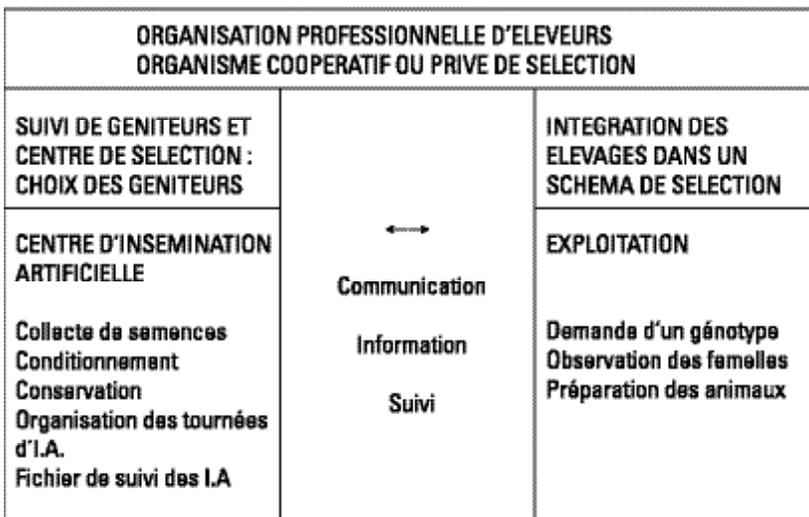
Sur le plan biologique, une contrainte majeure est la détection des chaleurs par l'éleveur, car la mise en place de la semence doit être faite au bon moment par rapport aux chaleurs. Chez la vache, il s'agit de la fin des chaleurs et des heures qui suivent : avec une durée moyenne des chaleurs de 18 heures, il faut inséminer entre 7 heures et 24 heures après le début des chaleurs en zone tempérée pour un taux de réussite supérieur à 60 % (en pays tropicaux les chaleurs sont souvent plus courtes). Chez la brebis, il faut inséminer 15 à 17 heures après la première détection des chaleurs si celle-ci a lieu deux fois par jour ; 12 à 24 heures après chez la chèvre ; entre 12 et 36 heures après le début des chaleurs vraies détectées par le verrat chez la truie.

Une insémination trop précoce ou trop tardive a peu de chances de succès. Il est donc indispensable que l'éleveur perçoive le moment favorable à l'insémination, soit par observation directe des femelles, ce qui peut être difficile car les chaleurs sont souvent peu extériorisées dans les régions chaudes, soit par l'utilisation de mâles marqueurs. Un autre moyen consiste à synchroniser les chaleurs d'un lot d'animaux : dans ce cas, les traitements hormonaux permettent de savoir l'époque optimale pour pratiquer l'insémination et il est possible d'inséminer à heures fixes.

Même si les éleveurs ont une connaissance empirique des modalités de la reproduction, une sensibilisation et une formation à la détection des chaleurs est indispensable. Il faut aussi veiller à assurer une bonne alimentation en période de reproduction. Les animaux doivent être déparasités et vaccinés, et les stress sont à éviter en période d'insémination. L'éleveur doit également savoir choisir les animaux qu'il fera inséminer : des femelles ni trop jeunes, ni trop vieilles, ni trop proches de leur dernier vêlage, ni trop peu fertiles (si le nombre d'échecs d'inséminations est élevé ou si la mise bas précédente est très éloignée, un examen est nécessaire pour éventuellement éliminer l'animal de la reproduction).

Il s'agit également d'avoir des inséminateurs bien formés tant en physiologie de la reproduction qu'en anatomie des voies génitales. Le lieu de dépôt de la semence qui varie avec l'espèce doit être bien connu et maîtrisé : dans le corps utérin (vache), dans ou à l'entrée du col utérin (brebis et chèvre, truie).

L'insémination artificielle demande la mise en place d'une organisation technique importante, qui va de la collecte de la semence à l'insémination chez l'éleveur. L'ensemble constitue une chaîne dont les principaux éléments sont représentés dans la figure suivante et dans laquelle le technicien et l'éleveur ont des rôles essentiels.



► **Figure 2 : Organisation technique de l'insémination artificielle**

Au centre de production des semences, il faut disposer d'infrastructures et de matériel. Les premières seront plus ou moins importantes selon le nombre de géniteurs mâles présents dans le centre. Elles seront grandes si le centre accueille des géniteurs et s'il est combiné avec une unité de sélection. Elles seront réduites à quelques pièces si les semences sont importées.

La technique d'insémination exige du matériel de prélèvement, de contrôle de la qualité et de conservation pour la congélation des semences, notamment des bovins, en paillettes dans des récipients cryogéniques contenant de l'azote liquide à - 196°C. Cette conservation peut durer de nombreuses années.

Chez les ovins, la semence conservée à + 15°C est la plus utilisée. Il faut alors la mettre en place dans les 8 à 10 heures (15 heures au maximum).

Chez les porcins, le volume plus important entraîne la conservation dans des flacons, et ce à + 16°C et à l'abri de la lumière. La mise en place doit être faite dans les 24 heures (pour 3 milliards de spermatozoïdes par dose) ou dans les 3 jours (pour 6 milliards de spermatozoïdes par dose).

Il faut également disposer d'un système de communication efficace et fiable qui assure des contacts réguliers entre les acteurs et une très bonne organisation des rendez-vous avec l'inséminateur. Si l'organisation de l'insémination est assez simple dans les pays où les éleveurs sont équipés de téléphone, il en va autrement ailleurs.

Divers modes d'organisation peuvent être mis en place en milieu tropical pour résoudre ce problème de communication quand il existe : campagnes d'inséminations, tournées et visites fixes, insémination en ferme, centre de regroupement, inséminateur résident, insémination par les éleveurs.

Le développement de cette technique doit être accompagné et soutenu autant que possible par des organisations d'éleveurs tant pour la sélection et l'élevage des géniteurs que pour le maintien des structures et des équipes d'insémination. Par cette voie, il est possible d'assurer une forte sensibilisation des éleveurs et de les responsabiliser.

L'enjeu économique du développement de l'insémination artificielle est un volet important de cette technique d'amélioration génétique, qui doit faire l'objet d'une étude préalable et de suivi des coûts des interventions et des résultats. Les opérations d'insémination sont souvent coûteuses et, s'il n'y a pas de subvention, l'éleveur doit retirer un bénéfice important de cette intervention. Ses frais correspondent au prix des semences, aux équipements qu'il doit acquérir (une installation de contention peut être nécessaire), et aux dépenses en intrants nécessaires pour valoriser au mieux les produits de l'insémination artificielle : bonne couverture sanitaire, alimentation adéquate pour extérioriser le potentiel génétique.

Il est également nécessaire de rentabiliser ou au minimum de couvrir les frais des services techniques. Il faut entretenir les centres de collecte de semences, la conservation des prélèvements et tout le personnel technique, qui doit être compétent et entraîné, ce qui demande des formations et un bon encadrement.

Enfin, il faut savoir que les résultats de fertilité sont souvent inférieurs à ceux de la monte naturelle et qu'il est souvent nécessaire d'inséminer deux fois les femelles pour aboutir à une gestation.

Malgré ses nombreux avantages, la technique est finalement encore assez peu utilisée en pays tropicaux. Elle s'adresse aux éleveurs qui sont en train d'intensifier leur élevage. Elle n'est pas applicable dans les élevages extensifs du fait de l'absence de contrôle des géniteurs et de la difficulté de détecter les chaleurs.

● **Le transfert embryonnaire**

Le transfert embryonnaire consiste à prélever un ou des embryons dans l'appareil génital d'une femelle donneuse et à le(s) transplanter dans l'appareil génital d'une ou plusieurs femelles receveuses. Alors que l'insémination artificielle permet à un mâle de valeur d'avoir de très nombreux descendants, le transfert permet aux femelles de valeur d'avoir plus de descendants. Le progrès génétique en est accéléré.

Il facilite également les échanges internationaux : l'embryon est plus facile à transporter que des animaux vivants et avec moins de risques sanitaires.

Mais, c'est une opération très coûteuse qui ne se justifie que pour des animaux à forte valeur génétique. Sur le plan technique, la production des embryons est souvent le facteur le plus limitant. Le nombre d'embryons collectés est souvent faible et très variable. Le choix des femelles donneuses est important. Le traitement utilise de nombreuses injections d'hormones : FSH, PMSG (ECG), oestradiol, GnRH, prostaglandines.

● **La maîtrise des métabolismes hormonaux**

Les biotechnologies qui contournent les modes naturels de reproduction nécessitent d'intervenir sur le métabolisme hormonal de la reproduction et font appel à des méthodes de synchronisation et d'induction des chaleurs.

La synchronisation des chaleurs permet de regrouper les chaleurs et les mises bas sur une période courte. Les chaleurs sont alors mieux observées. Une ou deux inséminations artificielles à horaire fixe (sans détection des chaleurs) peuvent aussi être pratiquées. Les lots d'animaux obtenus seront plus homogènes. Les naissances peuvent avoir lieu à une période de l'année plus intéressante du point de vue climatique, alimentaire, pathologique, commercial (vente de lait et des jeunes) ou de l'organisation des travaux.

Il existe différentes techniques de synchronisation et d'induction.

L'observation de la cyclicité

Il est utile de déterminer le taux de femelles cyclées dans un troupeau pour guider le choix de la méthode de synchro/induction des chaleurs à utiliser. Pour cela, il est possible d'observer régulièrement le comportement de chaleur des femelles, mais cela est très contraignant. Le dosage de progestérone sur deux séries de prélèvement de sang ou de lait effectués chez les bovins à 10 jours d'intervalle permet de distinguer le pourcentage de femelles non cyclées (les deux niveaux sont très bas), les autres étant soit cyclées soit en gestation.

L'injection de prostaglandines à 9-13 jours d'intervalle (bovins, caprins, ovins)

La prostaglandine F2 alpha (ou un équivalent), injectée entre le 5^{ème} et le 17^{ème} jour du cycle, entraîne la lyse du corps jaune, suivie de l'apparition d'oestrus. Si l'injection est répétée 9 ou 10 jours après, toutes les vaches cyclées au départ se trouveront entre le 5^{ème} et le 17^{ème} jour du cycle à la deuxième injection. Leurs chaleurs seront synchronisées. La méthode n'est intéressante que lorsque le pourcentage de femelles cyclées dans le troupeau à traiter est très important.

La pose d'implants de progestagènes sous la peau de l'oreille

Ils bloquent le cycle pendant le temps de leur pose en empêchant la décharge hormonale responsable de l'ovulation. À leur retrait, un nouveau cycle démarre. Si le retrait a lieu au même moment sur un groupe de femelles cyclées, leurs chaleurs sont synchronisées. Une injection d'oestradiol à la pose empêche la formation d'un corps jaune au début du cycle et raccourcit la durée de vie du corps jaune en milieu de cycle.

La pose de spirales ou d'éponges vaginales de progestagènes

Le principe est le même, mais le progestagène est mis en place dans le vagin. Le temps de pose est de 12 jours chez les bovins. Les risques de pertes de spirales sont un peu plus élevés que pour les implants sous-cutanés, mais les résultats sont comparables. Diverses éponges différant par le dosage de progestagène (30, 40 ou 45 mg) et la durée de mise en place (entre 10 et 14 jours) sont utilisées chez les petits ruminants, jeunes ou adultes, pendant ou en dehors de la saison sexuelle. L'insémination unique a été faite avec succès (taux de gestation de 89 %) 42 heures après le retrait chez des chèvres au Brésil ;

La pose de mélatonine en implants

La mélatonine est une hormone sécrétée pendant la nuit. Ses variations sont liées à la photopériode (proportion du jour sur l'ensemble jour + nuit). L'implant permet de mimer une période de jours courts. Utilisé au printemps ou en été sur béliers ou boucs, il améliore la croissance des testicules et la production de sperme. Utilisé sur des brebis ou des chèvres, il permet d'avancer la saison sexuelle et de regrouper les mises bas.

L'effet mâle

Il agit surtout chez les ovins et caprins et pour les cochettes (jeunes truies). Lorsqu'on retire les mâles du troupeau de femelles pendant au moins 3 ou 4 semaines puis qu'on les remet dans le troupeau, beaucoup de femelles viennent en chaleur ensemble. On observe ainsi deux pics autour des 19^{ème} et 25^{ème} jours qui suivent chez les brebis. Le degré de synchronisation n'est pas suffisant pour inséminer à heure fixe.

Toutes ces méthodes peuvent être utilisées sur les races tropicales, mais plusieurs points techniques doivent être adaptés tels que la dose de PMSG (une dose trop forte augmente le taux de jumeaux alors qu'une dose trop faible est suivie d'une synchronisation moins bonne), l'utilité ou non d'une injection de prostaglandine au moment de l'insémination artificielle etc.

● La génétique

● Les bases de la génétique

À l'intérieur d'une population animale, il existe toujours une variabilité des phénotypes (caractères extériorisés physiquement et physiologiquement) et des performances. Elle est due en grande partie au génotype qui est l'ensemble des gènes permettant l'expression des caractères d'un individu. Le milieu et les conditions de conduite des animaux influent également sur les performances zootechniques. La génétique est l'approche descriptive et quantitative des caractères phénotypiques (robe, conformation, etc.) et des caractères de production (croissance, production laitière, etc.) des animaux et de leur transmission par descendance, ainsi que la connaissance des gènes grâce à la biologie moléculaire (qui ne sera pas abordée ici).

Les différences observées entre les animaux entretenus dans les mêmes conditions peuvent ainsi être exploitées si le caractère choisi est transmissible des parents aux descendants. Par définition, seul le patrimoine héréditaire (ensemble des valeurs génétiques) est transmis par les reproducteurs aux descendants.

L'objectif principal d'un programme d'amélioration génétique est de connaître aussi précisément que possible le patrimoine génétique, de l'estimer, puis de classer les géniteurs, et enfin de choisir les meilleurs reproducteurs.

L'héritabilité est à la base des programmes de sélection. C'est une méthode de mesure de l'hérédité des caractères quantitatifs qui sont le plus souvent recherchés sur le plan économique. Les caractères à forte héritabilité se transmettent facilement d'une génération à l'autre, alors que la transmission des caractères à faible héritabilité est plus aléatoire. La précision de la sélection dépend de l'héritabilité du caractère choisi. Le tableau 2 classe différents caractères selon leur niveau d'héritabilité.

Tableau 2. Héritabilité de quelques caractères

Caractère	Héritabilité
Teneur en gras de la carcasse chez les bovins	moyenne à élevée
Rendement carcasse	
Poids adulte	
Taux butyreux	
Diamètre de la fibre de laine	
Vitesse de croissance après sevrage chez les bovins GMQ 10-30 jours des agneaux	moyenne
Poids à la naissance	faible à moyenne
Précocité sexuelle	
Efficacité d'utilisation des aliments	
Production laitière	
Poids à la puberté	
Taux de prolificité des brebis	très faible
Taux de fertilité	
Caractères de résistance aux maladies	
Naissances gémeillaires	

● La sélection

Un schéma de sélection peut être mis en place à partir de l'observation, du suivi et de l'analyse des productions d'un nombre élevé d'individus de même race et grâce à la connaissance des héritabilités et d'autres paramètres génétiques (variabilité des caractères, corrélations entre caractères, etc.). Ce schéma a un but économique, notamment l'amélioration du revenu des éleveurs.

Dans une opération d'amélioration génétique, la première étape consiste à choisir un objectif de sélection. Dans un contexte d'élevage extensif, l'obtention d'objectifs stables et bien définis est souvent difficile compte tenu de l'absence de bases de références fiables dans le domaine animal et du manque de structures de concertation entre éleveurs permettant d'obtenir un consensus sur des objectifs. La situation de départ est mal connue et la demande réelle est souvent mal déterminée. La définition de l'objectif à atteindre est alors la première difficulté rencontrée.

Dans des systèmes d'élevage intensif, les objectifs de sélection sont plus aisés à fixer (amélioration de la vitesse de croissance, augmentation des masses musculaires, de la quantité de lait produit par lactation moyenne, etc.). Le caractère que l'on cherche à améliorer par sélection doit être mesuré sur les candidats à la sélection et sur les individus qui leur sont apparentés.

Un bon critère de sélection est :

- > *mesurable* : la mesure peut être faite sur l'animal à sélectionner ou ses parents. Elle peut être unique ou répétée. Dans tous les cas, elle doit être facile à faire, fiable et répétable ;
- > *transmissible* : il est logique que le caractère mesuré passe d'une génération à l'autre ;
- > *variable* : la sélection a d'autant plus de prise que le caractère est plus variable. Dans le cas d'une faible héritabilité mais d'une bonne variabilité, il peut être intéressant d'utiliser une mesure indirecte ou un marqueur bien corrélé avec le critère à améliorer ;
- > *identifiable très tôt dans la vie de l'animal* : cette caractéristique est essentielle pour choisir le plus vite possible un reproducteur ;
- > *repérable sur les deux sexes* : cette condition permet une meilleure efficacité. Elle ne peut bien évidemment pas être respectée pour les caractères de reproduction ou de production laitière. L'emploi de mesures indirectes est alors obligatoire ;
- > *corrélé fortement avec des données économiques* : les facteurs économiques permettent non seulement de juger de la nécessité ou de l'échec d'un plan d'amélioration génétique, mais encore et surtout de comparer, puis de pondérer si nécessaire, les divers critères de sélection utilisés (combien rapporte un nouvel agneau, un litre de lait supplémentaire, une croissance plus rapide ?).
- > *peu onéreux à mesurer* : une partie importante de l'efficacité de la sélection repose sur la répétition des mesures et il est important que la mise en œuvre du contrôle des performances soit la moins chère possible.

La sélection peut se faire sur un caractère, mais dans la pratique l'amélioration génétique porte presque toujours sur plusieurs caractères, plus ou moins dépendants les uns des autres et contribuant simultanément à déterminer la valeur économique des individus.

● **L'efficacité de la sélection**

Sélectionner des animaux, c'est toujours classer les candidats à la reproduction en fonction de leur valeur génétique. Le classement peut être fait à l'aide de mesures effectuées sur un ou plusieurs caractères ou à l'aide de relevés pris directement chez l'animal candidat ou chez des apparentés. La moyenne des candidats retenus est différente de la moyenne des candidats mesurés. Cette différence est appelée pression de sélection.

Pour pouvoir juger de l'efficacité d'un programme d'amélioration génétique, il faut connaître le progrès génétique réalisé en une génération. Ce progrès peut être défini comme la différence entre la valeur génétique moyenne des individus de la génération (n+1) et de ceux de la génération (n). Il est possible de parler de valeurs phénotypiques dans le cas où les conditions de milieu n'ont pas changé d'une génération à l'autre.

Le succès de l'amélioration génétique est alors fonction de trois facteurs principaux.

L'intensité de sélection

Elle caractérise la supériorité des animaux choisis comme reproducteurs par rapport à l'ensemble des candidats.

En conséquence, sur un ensemble de candidats, moins le nombre d'animaux choisis est grand, plus l'intensité de sélection est forte, et plus le progrès génétique risque d'être important. En d'autres termes, plus le choix est sévère, plus la sélection sera efficace.

L'intervalle de génération

C'est le temps qui s'écoule entre deux états identiques dans le cycle de vie de deux générations successives. C'est l'âge moyen des parents lorsque les enfants peuvent être utilisés comme reproducteurs à la génération suivante. Plus cet intervalle est petit, plus le progrès est rapide. C'est une donnée biologique incompressible. Elle peut être augmentée lors d'une utilisation plus longue des reproducteurs ou lors d'une utilisation d'une sélection sur descendance. Vouloir garder plus longtemps les reproducteurs pour avoir plus de descendants et augmenter l'intensité de sélection, c'est augmenter aussi l'intervalle de génération et réduire de ce fait le gain obtenu. Un moyen terme est donc à rechercher.

Les paramètres génétiques

Ils interviennent dans l'estimation du progrès génétique (héritabilité des caractères, corrélations génétiques et phénotypiques, corrélations avec les estimateurs). Ils ont un effet sur les méthodes de sélection utilisées. Par exemple, à contraintes identiques, une sélection sur ascendance est moins efficace qu'une sélection sur descendance à condition que le nombre de descendants soit suffisant. Il apparaît évident que des paramètres génétiques forts sont plus efficaces. Cette efficacité augmente aussi avec le nombre de performances contrôlées chez un individu, avec le nombre de descendants connus, et avec la parenté (des pleins frères sont préférables à des demi-frères par exemple). Comme précédemment, un optimum est à trouver entre le nombre de mesures effectuées sur un candidat et l'intervalle de génération.

● **Les méthodes de sélection**

La sélection massale

Les reproducteurs sont choisis uniquement d'après leurs valeurs phénotypiques individuelles. C'est une méthode toujours applicable, simple et efficace pour les caractères à héritabilité moyenne à forte. Elle peut être mise en œuvre rapidement sur des caractères précoces : l'intervalle de génération est donc minimum et le progrès génétique peut être important. Elle est inefficace dans le cas de caractères à héritabilité faible, de caractères non mesurables sur l'individu à sélectionner (production laitière par exemple) et de caractères à mesures répétées du fait d'un allongement trop important de l'intervalle de génération. La sélection massale reste cependant un très bon outil.

La sélection sur ascendance ou *pedigree*

La valeur génétique des candidats à la reproduction est estimée à partir des valeurs phénotypiques des parents ou grands-parents. Cette méthode est toujours moins précise que la sélection massale. Elle permet de limiter l'intervalle de génération. C'est une méthode peu intéressante à elle seule. Elle peut apporter une information complémentaire. Il est inutile de dépasser la génération des grands-parents. La sélection sur ascendance suppose la mise en place d'un système rigoureux d'enregistrement des performances et des filiations.

La sélection sur collatéraux

Le candidat à la sélection est estimé à partir de la moyenne des performances de ses collatéraux (frères, soeurs, demi-frères). Son utilisation restrictive n'a d'intérêt que pour les familles nombreuses et les caractères à héritabilité faible. En élevage ovin, on choisit un reproducteur dans les portées prolifiques, mais aussi dans celles qui, à trois mois, ont la meilleure croissance globale.

La sélection sur descendance

Les reproducteurs sont sélectionnés d'après les performances de leurs descendants. Cette méthode est moins restrictive que la précédente bien que très proche. L'estimation est réalisée à partir des jeunes qui sont tous collatéraux puisqu'ils appartiennent à la même famille. Toutefois le choix ne se porte plus sur ces descendants, mais sur les parents. Cette méthode est plus efficace que la sélection massale dans le cas de caractères à héritabilité faible ou moyenne. Elle a cependant tendance à augmenter l'intervalle de génération du fait de la conservation des candidats à la sélection. Le coût est alors plus élevé. Cette méthode pourrait être réservée aux reproducteurs susceptibles d'avoir de nombreux descendants, aux caractères non mesurables sur les candidats à sélectionner et à héritabilité faible. L'insémination artificielle, en donnant la possibilité d'accroître considérablement le nombre de descendants et en réduisant notablement les coûts d'entretien, donne à cette méthode une place de choix.

La sélection combinée

Toutes les informations sont combinées. En théorie, cette méthode est certainement la meilleure. En pratique, les difficultés de réalisation des relevés de performance et des schémas de croisement la rendent peu opérationnelle. La simplicité reste souvent la règle. Rappelons en conclusion qu'un programme d'amélioration génétique par sélection doit avoir un but économique et demande une bonne organisation des éleveurs et des structures d'appui. Il demande la constitution d'un noyau de sélection, des stations de testage des performances et des moyens de diffusion des reproducteurs.

● **Le croisement**

Une autre voie d'amélioration génétique est le croisement entre des reproducteurs de populations différentes. Cette méthode permet d'aboutir rapidement à des augmentations de format (croisement d'une race locale de zébu avec un produit de race à viande de zone tempérée ; croisement de zébu ou taurin africain avec de la semence de taureaux laitiers à haut niveau de production), et dans certains cas de bénéficier d'un effet supérieur à la moyenne des deux niveaux de production du couple (effet d'hétérosis). Ce résultat rapide sur les performances ne permet pas toujours de garder les qualités des animaux croisés, par exemple la résistance à certaines maladies : le croisement de vaches N'dama avec des taureaux jersiais diminue la résistance naturelle des N'dama aux trypanosomoses.

Il existe plusieurs modalités de croisement. Après plusieurs générations, il est possible de fixer certains caractères améliorateurs. C'est toutefois une technique délicate qui nécessite de bons suivis et des conditions techniques indispensables pour que les caractères de production recherchés puissent s'exprimer. Elle présente le danger de diluer des caractères importants d'adaptation au milieu et doit se justifier principalement par des choix économiques.

● **Les autres voies d'amélioration**

Elles font appel autant à des techniques nouvelles qu'à l'amélioration de pratiques largement répandues.

● **Le logement**

Les logements des animaux sont très divers. Ils correspondent à la nécessité de garder les animaux, de les mettre à l'abri de prédateurs, de les protéger contre les intempéries, de les garder en stabulation ou d'organiser une production intensive. Ils doivent correspondre à la taille moyenne des individus et à l'importance du troupeau. Ils peuvent donc aller, dans le cas des bovins, du parc d'épineux à des étables avec équipements complets pour l'attache des vaches et la distribution d'aliments. Dans le cas des volailles, la variabilité des poulaillers est également très grande selon le mode de production et les moyens mis en œuvre.

Dans le cas des élevages extensifs, la mise en place d'abris se justifie dans des lieux proches de l'eau et des ressources fourragères, et pour une durée de séjour minimale. Ce logement sommaire est principalement destiné à garder le bétail la nuit. Il peut être plus ou moins efficace dans cette protection et il peut être amélioré dans certains cas pour mieux protéger les animaux des vents dominants. Il doit se situer si possible sur une petite hauteur. En zones sub-humides et humides, il doit faire l'objet d'un minimum d'entretien pour que les animaux ne soient pas dans la boue. Le plus souvent, les éleveurs changent les emplacements à intervalle régulier pour limiter les infestations parasitaires.

Un logement plus élaboré va de pair avec la sédentarisation. On le rencontre souvent dans les systèmes de production associant l'agriculture et l'élevage. Ce sera donc le cas pour les animaux en étable (fumière ou pas) : boeufs de trait, vaches laitières, bovins ou moutons en engraissement. Au-delà de l'abri plus ou moins élaboré, mais au minimum couvert, il s'agit d'approvisionner les animaux en fourrages et en sous-produits pour les nourrir, mais aussi leur assurer une litière, et de prévoir un équipement pour abreuver les animaux s'ils sont en permanence dans l'étable.

Ce type de logement est souvent fait avec des matériaux locaux et demande un investissement limité. Les animaux peuvent être à l'attache ou en stabulation libre (cf. chapitre 62).

Plus élaborées et plus coûteuses sont les étables ou bergeries ou écuries des élevages intensifs. Ce sont de véritables bâtiments organisés pour faciliter les travaux et les déplacements des animaux. Elles doivent être construites en tenant compte des conditions climatiques (vent, pluie, humidité, soleil), du sol, de la conduite aisée de l'exploitation, et de l'environnement proche. Dans les régions chaudes, il est essentiel que les bâtiments soient bien aérés pour éviter une chaleur excessive et un air confiné nuisible à toutes les espèces élevées en conditions intensives. Par ailleurs, au-delà des locaux pour les animaux, l'exploitation doit avoir des dépendances pour stocker les aliments et isoler les animaux malades. Dans ce type de logement, une attention particulière doit être portée à l'hygiène.

● L'abreuvement

L'eau est indispensable pour l'entretien et la production des animaux ; ils doivent être abreuvés régulièrement. L'eau doit être fournie en quantité suffisante, en particulier pour les animaux laitiers et les bêtes de trait, et ne doit pas causer de troubles directs ou indirects.

Pour cela, il est nécessaire de puiser l'eau dans de bonnes conditions et de ne pas la souiller. Des aménagements peuvent être mis en place autour des puits ou des forages pour faciliter l'abreuvement et assurer la conservation de la bonne qualité de l'eau. Au-delà de l'abreuvement même, l'environnement des points d'eau doit être aménagé pour éviter les conditions de développement de certains parasites internes qui ont un besoin impératif d'humidité pour assurer leur cycle et réinfester les animaux.

● L'hygiène²

L'hygiène représente un ensemble d'actions préventives pour limiter les risques sanitaires et assurer de bonnes conditions d'entretien et de production des animaux. Elle peut s'appliquer sous différentes formes et à tous les modes d'élevage. Plus le système d'élevage est intensif, plus les règles d'hygiène doivent être respectées.

Dans les élevages extensifs, l'hygiène porte sur les conditions de parage de nuit des animaux, sur la protection des jeunes animaux et sur un minimum de précautions autour de la traite et de la conservation du lait.

L'hygiène pour les animaux de trait est importante et porte tant sur l'entretien des animaux que sur les conditions de travail et le harnachement. Il s'agira donc de veiller aux apports alimentaires qui doivent être adaptés à l'effort demandé ainsi qu'au matériel de travail qui ne doit pas blesser et être entretenu pour ne pas favoriser la transmission de certaines maladies.

D'une manière générale, il est recommandé d'assurer un minimum d'hygiène autour des mises-bas, pour la mère comme pour le jeune. Dans les élevages laitiers, une attention particulière doit être portée sur l'hygiène de la traite tant pour l'animal que pour le lait destiné au consommateur. Il faut, par une désinfection avant et après la traite, éviter une contamination de la mamelle et assurer une bonne pratique de la traite manuelle ou mécanique.

Dans les élevages en voie d'intensification ou intensifs de monogastriques, avec souvent une forte densité animale, de nombreuses mesures doivent être prises pour limiter au maximum l'entrée de germes susceptibles d'entraîner des pathologies. C'est indispensable vis-à-vis de certaines maladies pour lesquelles les moyens de lutte sont limités, comme la peste porcine africaine qui ne peut être évitée qu'en isolant parfaitement les porcheries. Dans les élevages avicoles, il est nécessaire d'assurer une désinfection des poulaillers entre deux bandes, quelle que soit la taille de l'élevage.

² Cf. chapitre 66 et partie 7.

AMÉLIORER LES SYSTÈMES EXTENSIFS DE PRODUCTION SUR PARCOURS

La conduite sur parcours naturels ou agro-pastoraux est le mode dominant de production en Afrique tropicale. Dans ces systèmes d'élevage, caractérisés par des apports limités d'intrants et une main-d'œuvre peu abondante, la recherche de ressources fourragères et d'eau est essentielle pour l'entretien et la production des animaux. Les animaux fournissent aux éleveurs des aliments (lait, viande) et des revenus monétaires.

L'obtention de denrées alimentaires et la productivité numérique, qui donne la possibilité de vendre les animaux en surplus, sont les principaux objectifs de production. Il s'agit donc de favoriser le maintien ou l'augmentation du nombre d'animaux par des actions médicales et sanitaires, de faciliter l'accès aux ressources en fourrages et en eau, de gérer et maintenir ces ressources, et d'avoir la possibilité de vendre les productions pour satisfaire les besoins des familles.

● *Les interventions sur la santé*

La santé des animaux est une préoccupation essentielle des éleveurs. Les pathologies observées sont nombreuses et peuvent demander des interventions multiples. Dans les conditions d'élevage extensif, les actions ne peuvent être variées car leur coût par tête de bétail ne peut être élevé ; il est nécessaire d'avoir des frais d'intervention faibles et des intrants vétérinaires limités. Les actions doivent être fonction des pathologies majeures et utiliser les médicaments ou vaccins les moins onéreux.

Pour combattre ces maladies, les deux grandes voies sont les interventions médicales (usage de vaccins, de médicaments) et sanitaires (mise en place de mesures limitant les mouvements des animaux pour éviter la contagion). Les interventions médicales sont les plus fréquentes.

Les grandes campagnes de prophylaxie contre les maladies infectieuses majeures comme la peste bovine et la péri-pneumonie contagieuse bovine ont été à l'origine de l'augmentation des effectifs des troupeaux bovins dans les zones sahéliennes et soudano-sahéliennes. Il faut de nombreuses interventions et années pour limiter les foyers infectieux et arriver à terme à éradiquer une maladie. Mais cette persévérance est indispensable, surtout lorsqu'il y a des risques de contagion élevés et donc une probabilité élevée d'extension des maladies, comme dans le cas des diverses pestes animales (bovine, des petits ruminants, porcine).

Les campagnes de vaccination demandent la mise en place d'infrastructures plus ou moins lourdes, tels les parcs à vaccination. Elles doivent être précédées de réunions d'information et de sensibilisation des éleveurs pour assurer l'organisation et en conséquence l'efficacité des interventions. La maîtrise technique et les pratiques pour la prévention médicale sont cependant acquises par les éleveurs. Aujourd'hui leur attention doit être orientée sur les pratiques sanitaires qui peuvent être adoptées pour éviter les contagions, comme le respect des zones d'exclusion dans le cas de foyer de péri-pneumonie bovine.

Contre les maladies parasitaires dominantes dans les zones sub-humides et humides, les traitements à base d'antiparasitaires (trypanocides, insecticides, acaricides, anthelmintiques) sont tout aussi importants que les vaccins.

Ces produits vétérinaires doivent être disponibles pour les éleveurs tout au long de l'année et leur distribution doit être organisée. Les groupements d'éleveurs peuvent contribuer à assurer cette disponibilité. Les éleveurs doivent être formés au bon usage de ces médicaments : respect des doses, règles d'hygiène lors de la manipulation d'insecticides.

Actuellement les interventions publiques diminuent fortement dans le domaine de la santé animale ; la réalisation des actes vétérinaires est transférée à des agents privés et les éleveurs sont conduits à prendre en charge le coût des interventions et soins. Il est dans ce contexte indispensable de leur montrer le bien fondé économique des traitements ou des vaccinations.

En zone sahélienne et en zone soudanienne

Les suivis de troupeaux de petits ruminants et l'analyse des coûts montrent qu'en zone sahélienne la rentabilité de la prophylaxie anti-infectieuse est supérieure à celle de la prophylaxie anti-parasitaire. Cela tient au coût plus élevé de la vermifugation, alors que les résultats zootechniques de ces interventions sont proches.

En zone soudanienne, les pertes liées au parasitisme gastro-intestinal chez les ovins et les caprins sont quatre à cinq fois supérieures à celles liées à la pathologie infectieuse. D'autre part l'utilisation du vaccin peste seul s'avère suffisante contre les pathologies respiratoires. Les calculs des taux de rémunération des dépenses en vaccins et en anthelmintiques montrent cependant une légère supériorité de la vaccination, liée principalement à son faible coût.

Les interventions peuvent être menées sur toutes les espèces animales domestiques. Dans la cas du petit élevage, la vaccination des poules et pintades contre la maladie de Newcastle en milieu villageois permet d'augmenter très rapidement la productivité numérique des petits troupeaux familiaux. Cette mise en place de prophylaxie avec l'usage de vaccins par des aides vétérinaires demande une formation des vaccinateurs, la sensibilisation des producteurs et la mise en place de circuits de distribution des vaccins efficaces et peu onéreux car le coût de l'opération par poulet doit être le plus bas possible. De telles interventions sont de plus en plus souvent menées dans les villages avec une organisation de l'encadrement, de la formation et de la distribution à l'échelle de petites régions.

Les pratiques des éleveurs influencent les conditions sanitaires des troupeaux. Des liens étroits ont ainsi été mis en évidence entre les conditions de logement et la prévalence des affections respiratoires des petits ruminants. Cette pathologie est certes due à différents agents infectieux, mais les conditions de milieu jouent un rôle important. Le logement des ovins la nuit est notamment un facteur discriminant de cette pathologie majeure chez les petits ruminants. Les pratiques de confection des parcs de nuit peuvent être modifiées par des conseils techniques simples qui permettent de mieux protéger les animaux des vents. Les aménagements de poulaillers vont dans le même sens, en protégeant les volailles à la fois des mauvaises conditions atmosphériques et des prédateurs.

● **Les interventions sur l'alimentation et les ressources³**

L'alimentation sur parcours dans les régions chaudes est caractérisée par de fortes variations de la ressource tant en quantité qu'en qualité au cours de l'année, et d'une année sur l'autre. Cela tient principalement à la variabilité géographique et temporelle des précipitations. Il en résulte un disponible en matière sèche plus ou moins important selon les saisons et les zones. Par ailleurs, si les fourrages ont une bonne valeur alimentaire en début de végétation, leur qualité diminue fortement dès la fin de la saison des pluies.

Toutefois, la diversité de la flore sur des parcours sahéliens riches en dicotylédones herbacées ou ligneuses, utilisées avec une faible pression de pâturage (35 kg PV pour 500 à 1 000 kg MS/ha), permet aux animaux de sélectionner certaines plantes et d'avoir un régime dont les teneurs en énergie et en matières azotées permettent une croissance voisine de 50 g/jour en saison sèche pour des ovins. Cette diversité végétale est exploitée différemment selon les espèces animales : sur parcours à dominance de graminées, les bovins arrivent à exploiter les ressources et peuvent en conséquence assurer un minimum de production, alors que les ovins ont des performances faibles et ne peuvent gagner du poids qu'à condition de recevoir un complément alimentaire sous la forme de tourteau par exemple.

Au Niger, des essais de complémentation

Du son de mil a été distribué à des moutons Peul d'un poids vif initial de 25 kg à raison de 300 g MS/jour/animal. Cette complémentation a permis d'obtenir des GMQ de 77 g pendant 5 mois. L'intérêt d'une telle complémentation sur parcours de faible valeur nutritive est d'apporter une quantité limitée d'aliments par kilo de poids vif. Dans l'exemple ci-dessus, 4 kg de complément permettent un kilo de gain de poids vif. La complémentation permet donc souvent de «finir» des animaux plus rapidement que sur parcours.

Dans le cas des ovins, la complémentation ne doit pas être réservée aux béliers. Il existe des pratiques traditionnelles de distribution de compléments aux brebis allaitantes ou traites. D'autre part, l'apport d'aliments riches en énergie ou en azote permet d'améliorer les performances de reproduction et de diminuer la mortalité des agneaux : une brebis recevant un complément autour de la mise-bas et en début de lactation assure une meilleure lactation ; en conséquence, le jeune présente un meilleur état général. La complémentation des brebis permet également d'influer sur les périodes de mises-bas, souvent très saisonnées du fait des variations alimentaires des parcours. La complémentation peut être faite par exemple pour favoriser les fécondations avant la saison des pluies, période plus favorable pour la lactation.

Dans les modes extensifs de conduite des troupeaux, les prélèvements de fourrages par les animaux se font lors des déplacements sur des espaces collectifs. Ces prélèvements varient avec la densité des animaux. Une densité excessive conduit à un surpâturage qui modifie la flore au détriment des espèces les plus appréciées et entraîne la multiplication de plantes non ou peu consommées par les animaux.

³ Cf. chapitre 62.

Il s'agit alors de proposer aux éleveurs des modes de conduite qui évitent l'évolution des pâturages vers une valeur alimentaire nulle : gestion collective des parcours par un contrôle du nombre de troupeaux et organisation de rotations sur des espaces définis par les communautés.

L'autre ressource essentielle est l'eau. Elle est complémentaire des ressources fourragères, et sa présence conditionne bien souvent l'usage des pâturages. L'aménagement des points d'abreuvement permet de gérer les surfaces pâturées et peut assurer de meilleures conditions sanitaires aux troupeaux en limitant la prolifération des parasites. Aménager et gérer les points d'eau va de pair avec un appui à la mise en place de groupements d'éleveurs.

● **L'organisation des éleveurs**

L'organisation de la commercialisation peut être un moyen de sécurisation des producteurs en limitant les variations saisonnières des prix ou en leur permettant de mieux profiter des périodes où les prix de vente sont élevés. Cela demande une organisation (groupements ou associations d'éleveurs) et une réflexion sur les filières de production, ainsi que sur les questions d'épargne et de crédit. Les producteurs sont de plus en plus attentifs aux marchés et la mise en place de circuits d'information sur les prix leur permet de mieux gérer leurs ventes (cf. chapitre 222).

AMÉLIORER LES SYSTÈMES DE PRODUCTION SEMI-INTENSIFS

Le système semi-intensif est caractérisé par l'utilisation d'intrants et se situe dans un espace permettant d'assurer des échanges tant pour l'approvisionnement en intrants que pour l'écoulement des productions. Il correspond à un début d'intensification des productions et demande la maîtrise de techniques et le maintien de pratiques améliorées par rapport à la conduite en mode extensif.

Les objectifs sont en grande partie orientés vers une amélioration individuelle des performances des animaux (meilleure force de traction, augmentation de la production laitière, finition rapide d'animaux pour la viande, etc.). Les voies d'amélioration restent la santé, qui est à ce stade d'intensification un élément reconnu par la plupart des éleveurs, et surtout l'alimentation, facteur essentiel d'amélioration ; dans une moindre mesure les conditions générales d'entretien (logement) et la génétique sont des facteurs possibles de progrès. L'écoulement des produits est une condition au maintien de ces systèmes.

● **Les interventions sur la santé**

Celles-ci portent sur des éléments classiques de la lutte contre les principales pathologies. Elles font appel à des interventions vétérinaires sur les maladies infectieuses classiques par l'utilisation de vaccins appropriés. Pour les maladies parasitaires, un contrôle des infestations par les parasites sanguins et gastro-intestinaux est nécessaire. Les propositions réalisables sont proches de celles décrites pour le système d'élevage extensif.

Pour ces systèmes d'élevage, le concept de santé est intégré comme facteur de réussite et l'éleveur ou l'agro-pasteur sait qu'une dépense pour l'achat d'un médicament est une pratique utile. Les soins individuels sont nécessaires dans certains cas, comme le soin d'une plaie de harnachement, d'une boiterie ou d'une mammite. L'éleveur doit donc pouvoir obtenir des conseils, acheter des médicaments et éventuellement demander une intervention. Ces soins et intrants vétérinaires demandent une réflexion sur l'approvisionnement en médicaments, leur distribution et sur leur administration.

Dans ce mode de conduite en voie d'intensification, la notion de santé doit être élargie et porter sur les conditions globales d'entretien des animaux. Ce sont des pratiques de logement, de soins et d'hygiène qui doivent être mises en œuvre pour les animaux de trait (entretien des harnachements, soins des pieds), pour les vaches ou chèvres laitières (hygiène des étables et de la traite), pour les volailles (poulailler propre avec recouvrement des murs, traitement insecticide).

● **Les interventions sur l'alimentation et les ressources**

En production semi-intensive, il s'agit de combiner l'utilisation des ressources naturelles sous diverses formes (pâturages, etc.) avec celle des sous-produits disponibles (pailles de céréales, etc.). Une amélioration (économiquement rentable) des performances zootechniques est recherchée. Le plus souvent, il s'agit d'apporter un complément aux fourrages naturels ou aux résidus agricoles. Les sous-produits agro-industriels sont principalement utilisés à cette fin.

Des essais conduits dans la région Nord-Est du Burkina Faso

Un des objectifs de ces essais, dont les résultats techniques ont fait l'objet d'un transfert rapide chez les producteurs, était de mieux valoriser les résidus de récolte, notamment les pailles de céréales. Plusieurs types de rations ont été distribués. Les aliments utilisés ont été des pailles de mil, riz et sorgho, traitées dans certains cas avec de l'urée, des foin d'Andropogon et de Stylosanthes, du tourteau de coton, de la mélasse de canne et du son de blé comme sous-produits agro-industriels, et des compléments minéraux sous forme de pierre à lécher. Les performances des jeunes béliers Peul et Mossi ont été variables, avec des GMQ allant de 50 à 130 g sur des périodes de trois à cinq mois. Cela a permis de proposer aux producteurs une ration simple composée de paille de sorgho ou mil hachée et mélassée, complétée par du tourteau de coton et la mise à disposition de blocs à lécher dans les bergeries.

De telles opérations sont courantes avec les boeufs de trait qui, après plusieurs années de travail, sont «finis» avant d'être vendus pour la boucherie. Il faut savoir conseiller les éleveurs dans ces techniques de complémentation (choix des sous-produits, quantités à distribuer). Il est également essentiel que les approvisionnements en sous-produits soient organisés et réguliers. Il y a souvent un gros effort à faire pour assurer la distribution des sous-produits à des prix permettant de rentabiliser ces complémentations.

Un autre type d'action pour améliorer l'alimentation des ruminants peut être la mise en place de cultures fourragères dans les systèmes agro-pastoraux. L'intégration de ces fourrages peut être envisagée en liaison avec les problèmes de fertilité des terres et s'intégrer dans le cycle de régénération des sols par la méthode largement répandue des jachères. Il existe de nombreux essais intégrant des graminées ou des légumineuses herbacées ou arbustives dans les jachères. Une telle intégration demande un minimum de gestion de l'espace et une certaine maîtrise des charges animales. Il faut savoir protéger les parcelles fourragères et cultivées, ce qui nécessite des clôtures le plus souvent, et savoir assurer une utilisation soit en pâturage direct soit en fauche, compatible avec une bonne croissance des plantes. Ce type d'apport de fourrages cultivés se développe dans les zones sub-humides et humides sous le nom de *banques fourragères* à base de légumineuses herbacées ou arbustives pour l'alimentation des petits ruminants. Pour les animaux de trait ou les vaches laitières, des cultures de graminées peuvent être mises en place sur des parcelles protégées.

Dans le cas des volailles, un élevage semi-intensif demande une complémentation par des céréales ou des aliments complémentaires fabriqués dans des unités qui peuvent être de taille modeste.

Quelle que soit l'espèce élevée, ces systèmes semi-intensifs exigent que les éleveurs sachent gérer des stocks de fourrages, de sous-produits, de grains. Il est essentiel que des techniques de stockage soient diffusées par l'encadrement technique et que les éleveurs pratiquent des méthodes de conservation. Une rupture du stock alimentaire est toujours préjudiciable pour les performances des animaux et, en prolongeant la durée de la production, elle réduit la rentabilité de l'élevage.

Ces systèmes demandent aussi la mise en place d'organisations de producteurs pour assurer une certaine maîtrise de l'écoulement des produits finis.

● **L'amélioration génétique en milieu villageois**

Dans un cadre de production animale pour laquelle il existe une certaine maîtrise des facteurs de production, et où un suivi des populations animales peut être mis en place, les interventions sur la génétique deviennent possibles. Cela implique un minimum de facilités de suivi des animaux et des troupeaux, réalisable par exemple dans des élevages conduits en système sédentaire, dans des villages accessibles par des moyens motorisés. Ce suivi demande une identification et un marquage des animaux, ainsi que l'établissement de documents d'enregistrement des performances. Les caractères de sélection peuvent porter sur la production (vitesse de croissance, atteinte d'un poids vif donné à un âge donné) ou un caractère autre tel que la résistance à certaines affections comme l'infestation par les strongles. Ce type d'action génétique demande également un réseau de techniciens chargés des suivis, ainsi qu'une centralisation des données.

La mise en place d'un programme de sélection dans un cadre d'élevage traditionnel peut se faire selon une démarche de sélection intégrée entre élevages villageois et stations.

L'exécution pratique d'un tel plan peut se dérouler ainsi en élevage ovin :

1 - Dans les troupeaux villageois, on choisit de jeunes mâles d'après leurs propres performances, généralement le GMQ à un âge-type (30, 90, 180 jours, etc.) – sélection individuelle – et celles de leurs parents (principalement les brebis, les géniteurs mâles étant le plus souvent inconnus au début d'une sélection en milieu villageois), à partir de critères variés : production laitière, GMQ, robustesse etc. (sélection sur l'ascendance).

2 - Ces jeunes mâles sont placés dans une station où l'on suit leur croissance et autres performances.

3 - Puis on utilise la semence des meilleurs mâles en diffusion de géniteurs de façon temporaire ou en insémination artificielle sur des femelles de troupeaux villageois bien suivis.

4 - On mesure les performances de leur descendance, ce qui permet de déceler le ou les mâles de la station qui ont donné les meilleurs descendants (sélection sur la descendance ou « testage »).

5 - Le ou les béliers testés favorablement sont utilisés alors sur des troupeaux villageois ou sur le troupeau de femelles de la station.

6 - Parmi les descendants du ou des béliers testés favorablement, on choisit des mâles pour un nouveau testage et des femelles pour remplacer celles du troupeau reproducteur de la station.

8 - Dans la descendance de ce troupeau de reproducteurs de la station, on choisit les meilleurs mâles pour les mettre également en testage.

Des schémas très voisins ont été mis en place dans plusieurs pays (Bénin, Côte-d'Ivoire, Togo) pour l'amélioration génétique des ovins et se poursuivent avec succès.

Des améliorations génétiques peuvent être envisagées sur toutes les espèces. Pour la production laitière, des schémas de sélection peuvent être mis en place. Souvent, pour aller vite, les éleveurs préfèrent faire des croisements avec des races exotiques. Il est important de choisir des races qui peuvent s'adapter aux climats des régions chaudes.

Dans le cas des volailles, il est rare que les races locales fassent l'objet d'une sélection. Ce sont des croisements avec des races exotiques choisies pour développer le format qui sont essentiellement mis en œuvre, avec, par exemple, la diffusion de coqs « améliorateurs ».

OPTIMISER LES SYSTÈMES INTENSIFS DE PRODUCTION

Dans le cas des systèmes intensifs de production, l'objectif des éleveurs est de maîtriser les conditions de production d'un matériel animal afin d'obtenir une quantité de produits (lait, viande) maximale ou optimale en fonction des facteurs de production mis en jeu. Les choix zootechniques, d'intrants, d'investissements en animaux, locaux et matériel agricole ont une répercussion économique qui doit être prise en compte pour assurer la viabilité des exploitations.

● **Les conditions de l'intensification**

Les systèmes intensifs demandent de nombreux facteurs de production. Ils sont réalisés à partir de capital, d'intrants et de main-d'œuvre. Ils exigent la maîtrise de la conduite technique, dont l'un des principaux éléments est l'alimentation. Les aliments représentent en effet plus de la moitié des coûts de production dans les élevages intensifs de volailles ou de vaches laitières.

Il est essentiel de maîtriser l'approvisionnement en aliments pour éviter toute rupture et permettre la distribution régulière de rations calculées de façon rigoureuse par rapport à des objectifs zootechniques et économiques.

Les pathologies doivent être contrôlées au mieux. Pour cela, un certain nombre d'affections doivent faire l'objet d'un plan de prophylaxie rigoureux : vaccination systématique contre les principales maladies infectieuses, déparasitage interne, déparasitage externe, mise en place de pédiluves.

Ces interventions vétérinaires doivent être complétées par des actions relatives au bon entretien des animaux, comme des logements adaptés à chaque espèce animale, des interventions sur les animaux telles le contrôle des onglons sur les ruminants, la taille du bec dans les bandes de poulets et poules, une hygiène des locaux, le suivi de règles de précaution par le personnel, etc.

Les performances des animaux doivent être planifiées et suivies. Cela permet de prendre des décisions sur les rations, les allotements, les ventes des produits. Une production intensive n'est viable que si la marge nette est positive (cf. le chapitre 61). Elle implique donc un suivi précis des charges opérationnelles et des charges de structure. Son intérêt peut être limité à une période bien déterminée dans l'année. Elle demande soit une maîtrise individuelle des circuits d'achat et de vente des productions animales, soit l'intégration de l'exploitation dans un circuit de collecte et de distribution.

● **La santé et l'hygiène**

La santé doit être contrôlée par des opérations de prophylaxie obligatoires. L'éleveur doit être informé et respecter un calendrier de prophylaxie vis-à-vis des maladies infectieuses et parasitaires. Malgré cette condition impérative de prévention, des pratiques très variées sont observées quant à l'application des programmes de prophylaxie et ont des répercussions économiques plus ou moins favorables lors du bilan. Cela a été observé dans les élevages avicoles péri-urbains où la productivité varie de 1 à 3 selon les pratiques d'hygiène : absence ou présence de litières, entretien de la litière, personnel peu qualifié ou affecté à un ou plusieurs poulaillers, accès restreint aux bâtiments, etc.

L'attention sur la santé doit aussi porter sur les individus notamment pour les ruminants. Une observation quotidienne attentive doit permettre de détecter rapidement un malade et d'intervenir.

Au-delà de ces éléments médicaux, ce sont des principes d'hygiène qui doivent être appliqués. L'hygiène doit aller au-delà de l'entretien des animaux et doit porter aussi sur la collecte et la conservation des produits. Lors de la traite, par exemple, il est important de limiter les risques de contamination par les germes présents sur la mamelle et dans le matériel de collecte et de conservation. Cela limite les contaminations du lait et assure une meilleure conservation, utile autant pour le producteur que pour le consommateur.

● **L'alimentation**

Les rations distribuées font obligatoirement appel à divers aliments. Une partie des aliments peut être produite sur l'exploitation.

Cette production propre porte généralement sur les fourrages pour les élevages de ruminants, éventuellement sur les céréales pour les monogastriques. Il est en effet exceptionnel que la production d'aliments puisse être assurée de façon autonome. L'approvisionnement à partir de l'extérieur porte sur des matières premières telles que les tourteaux, les sons de céréales et les minéraux, ou des aliments complémentaires (pour le lait ou l'engraissement) ou complets (volailles essentiellement) formulés et fabriqués dans des usines d'aliments.

Les rations distribuées sont fonction du cycle de production des animaux : aliments démarrage pour les volailles, compléments de production pour les vaches laitières au cours des premiers mois de lactation, aliments de finition pour des ovins ou des porcs en fin de croissance ou d'engraissement. Il est essentiel que l'éleveur respecte les apports en fonction des besoins établis pour un objectif de production.

Exemples de production intensive d'ovin en Afrique tropicale

L'objectif de production est souvent la finition de béliers d'âges variables. Divers essais d'alimentation conduits en stabulation ont montré les performances de croissance élevées des races ovines présentes sous les tropiques. Des GMQ supérieurs à 100 g sont obtenus si des rations à teneurs élevées en énergie et en azote sont distribuées. Cela permet de bien valoriser le potentiel de croissance des animaux et d'avoir des béliers d'un poids supérieur à la moyenne dans bon nombre de cas.

Au Niger, sur des béliers Peul d'un poids initial de 25 kg, une ration comprenant des fanes de niébé (47%), du sorgho grain (17,5 %), de la graine de coton (10 %), du son de mil (25 %), additionnée de calcaire local (5 %) a permis d'obtenir un GMQ de 170 g sur une durée de 74 jours après adaptation au régime. L'indice de consommation a été élevé : 7,4 kg MS d'aliments par kilo de gain. Ce type de production demande un apport énergétique élevé, ce qui est possible par l'utilisation de céréales et de son de mil. Toutefois, le fourrage ne doit pas être négligé et les fanes de niébé ont permis ce GMQ élevé. Cette ration avait une teneur en MAD proche de 100 g/kg MS ; la fourniture en azote pour ce type de production est relativement facile avec les sous-produits disponibles localement.

Sur des races de plus petit format, comme les Djallonké, des GMQ également supérieurs à 100 g ont été obtenus. Au Burkina Faso, une ration comprenant du foin de *Brachiaria*, du son de blé, de la mélasse et du tourteau de coton a permis un GMQ de 108 g sur 2 mois pour des béliers d'un poids vif initial de 23 kg. L'indice de consommation a été de 9,1.

Dans le cas de production de lait, les apports alimentaires sont essentiels pour assurer un bon début de lactation et une persistance de celle-ci. La production par une vache d'un kilogramme de lait représente des coûts énergétiques (> 0,45 UFL) et azotés (60 g MAD) importants qu'il est indispensable de satisfaire pour que l'animal ne maigrisse pas et puisse assurer un cycle de reproduction limitant à 12-15 mois l'intervalle entre deux vêlages. Les coûts de production sont variables selon les espèces ; chez une brebis, le coût énergétique du lait (0,65 à 0,7 UFL/kg de lait) est beaucoup plus élevé que chez la vache, car le lait de brebis est plus riche en matières grasses.

La production intensive demande un suivi des animaux. Les béliers ayant une faible croissance doivent par exemple être éliminés en cours de croissance-engraissement pour ne pas pénaliser la performance globale des lots. Les vaches ayant une chute de production doivent faire l'objet d'un suivi sanitaire rapproché. Tout comme il faut s'interroger sur une chute de courbe de ponte dans un poulailler.

● **La génétique**

La sélection massale reste une méthode essentielle pour mettre en place un développement des productions animales par la voie génétique. Le type de caractères à sélectionner doit être bien précisé par rapport au contexte dans lequel le plan de génétique sera appliqué et doit correspondre à des enjeux économiques.

En milieu villageois, un modèle de sélection similaire à celui présenté précédemment pour l'organisation d'un plan de génétique peut être mis en place. Il est impératif de considérer que les animaux doivent rester adaptés à leur milieu ; il faut donc prendre garde à la conservation de certains caractères d'adaptation (résistance à certaines maladies, etc.).

À l'échelle d'une région ou d'un pays, il est nécessaire d'avoir une organisation des éleveurs qui permette la mise en place du suivi des animaux, la sélection de reproducteurs et la diffusion des gènes améliorateurs. L'organisation des éleveurs et leur adhésion à des objectifs de sélection est un préalable essentiel à l'amélioration génétique. Cela doit être structuré entre groupements d'éleveurs, organismes d'appui technique établissant des règles de suivi adaptées et des restitutions, et un niveau d'organisation administratif, réglementaire et régulateur.

Des croisements entre une race indigène et une race exotique sont souvent envisagés. Le choix des reproducteurs doit être raisonné par rapport à un objectif de production et à un ou deux caractères recherchés. Ces croisements permettent d'envisager les complémentarités entre deux races (rusticité-lait, prolificité-viande). Ils posent néanmoins de nombreuses questions pour leur application, qui demande un contrôle sanitaire des reproducteurs, un renouvellement régulier des femelles de race pure, un contrôle des saillies, un enregistrement des filiations, etc.

Il peut aussi être fait appel à des races exotiques qui sont élevées sans croisement, comme c'est souvent le cas pour les volailles.

● **La reproduction**

L'intensification de la production demande un certain contrôle pour assurer une bonne hygiène des reproducteurs et maîtriser les cycles de reproduction, afin de constituer des lots d'animaux homogènes dans leur état physiologique, plus faciles à conduire. La maîtrise de la reproduction est également nécessaire pour assurer des programmes de génétique. Les différentes modalités ont été exposées plus haut.

● **Le logement**

Le logement des animaux doit être adapté pour fournir des conditions favorables d'alimentation, de repos, et doit constituer un environnement sanitaire convenable. L'hygiène conditionne en grande partie l'état des animaux et est important pour la qualité des produits.

● La gestion des troupeaux

Les animaux des troupeaux doivent être allotés pour mieux maîtriser la distribution d'aliments (rations différentes selon l'état physiologiques et le niveau de production) et la reproduction. Il s'agit également de gérer les carrières des femelles en particulier, qui doivent faire l'objet de suivis. Ces différents points sont rapportés dans les chapitres consacrés aux espèces (cf. partie 7).

ADAPTER LES TECHNIQUES À LA DIVERSITÉ DES MODES DE PRODUCTION

Si les principes biologiques sont les mêmes pour améliorer les productions animales, ils doivent être adaptés aux systèmes de production pour rendre les innovations acceptables par les éleveurs et pour assurer une plus-value lors de leur adoption. Dans le tableau suivant, la priorité et l'efficacité des interventions dans les différents domaines évoqués ci-dessus sont mentionnées selon les systèmes d'élevage. Les priorités ne sont pas les mêmes selon les modes d'élevage :

- > *dans les systèmes extensifs* où il s'agit de produire à peu de frais et de raisonner une production variable dans le temps, les interventions sur la santé ont des résultats zootechniques et économiques importants, avec des enjeux de production numérique, alors qu'une opération de génétique sera lourde à mettre en œuvre et peu efficace ;
- > *dans les systèmes en voie d'intensification* où l'objectif est d'obtenir une certaine quantité de produits à un coût raisonnable en augmentant les quantités et la qualité des aliments, la santé devient une condition de base, et ce sont ensuite les actions sur l'alimentation et la génétique qui permettent l'amélioration des productions.

Il s'agit de raisonner en fonction des coûts-bénéfices, quel que soit le système d'élevage. Un système intensif peut ne pas être économiquement rentable, si le prix du kilo de poids vif à la vente est très faible. Et l'élevage sur parcours peut garder une valeur économique importante étant donné les faibles coûts de production. Le coût économique des produits animaux obtenus valide ou non la viabilité d'un système de production.

Enfin, au-delà des recommandations techniques, les pratiques seront toujours d'une grande diversité. Si les systèmes de production actuels sont adaptés à leur environnement, ils devront évoluer tant pour une meilleure utilisation des ressources naturelles sur les parcours que pour une amélioration de leur productivité. De nombreuses techniques peuvent être appliquées pour augmenter les productions en intervenant sur la santé, l'alimentation, la génétique. Mais ces techniques posent le problème de leur adoption par les producteurs. Dans l'avenir, il faudra principalement rechercher l'adaptation des techniques aux différents systèmes de production et assurer un bon transfert de ces techniques auprès des producteurs ou des associations de producteurs.

Tableau 3. Effets des interventions techniques et des pratiques selon les systèmes d'élevage

Domaine d'intervention	Santé	Alimentation	Pratiques de conduite	Reproduction	Génétique
Mode de conduite des troupeaux					
Extensive	+++ prophylaxie des maladies infectieuses prévention et/ou des maladies parasitaires	+ complémentation de réalisation souvent difficile (approvisionnement, prix)	++ amélioration des logements, de l'abreuvement	0 maîtrise difficile des géniteurs	+/- sélection sur des caractères d'adaptation au milieu à maintenir
Semi-intensive	+++ Condition nécessaire vis-à-vis des maladies infectieuses et parasitaires	++ complémentation minimale à certaines périodes de l'année, mise en réserve de fourrages, introduction éventuelle de cultures fourragères	++ logement, étable fumièrè	+ maîtrise plus ou facile, sélection des mâles par castration	+ début contrôle géniteurs mâles, début sélection sur caractère de production (lait, travail)
Intensive	+++ condition nécessaire, maîtrise indispensable : plan de prophylaxie, soins individuels	+++ condition nécessaire, ration de base et complément de production équilibrés	+++ logement, organisation de l'exploitation, bloc de traite	++ maîtrise des géniteurs, contrôle intervalle entre mise-bas, contrôle possible fécondation, contrôle âge à la première mise-bas	+++ sélection sur caractères de production, croisement, usage des biotechnologies

Bibliographie

- BARIL G., CHEMINEAU P., COGNIE Y., GUERIN Y., LEBOEUF B., ORGEUR P., VALLET J.C., 1993. *Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins*. FAO Rome, 231 p. (Etude FAO, Production et santé animales n° 83)
- BONNES G., DARRE A., FUGIT G., GADOUD R., JUSSIAU R., MANGEOL B., NADREAU N., PAPET A., VALOGNES R., 1991. *Amélioration génétique des animaux d'élevage*. Collection INRAP. Foucher, Paris.
- GUERIN H., FRIOT D., MBAYE ND., RACHARD D. – 1991 – *Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens. Etude méthodologique dans la région du Ferlo au Sénégal*. CIRAD-EMVT, Maisons-Alfort, ISRA, Dakar, coll. «Etudes et synthèses», N° 39, 115 p.
- HAMMOND K., GRASER H.U., MC DONALD C.A., 1992. *Animal Breeding : The modern approach*. Post-graduate Foundation in Veterinary Sciences, Sydney, 257 p.
- LHOSTE PH., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D. – 1993 – *Manuel de zootechnie des régions chaudes. Les systèmes d'élevage*. Ministère de la Coopération, Paris, Coll. Manuels et précis d'élevage, 288 p.
- MINIVIELLE F., 1990. *Principes d'amélioration génétique des animaux domestiques*. Les Presses de l'Université. Laval.
- PLANCHENAU D., 1993. *Evaluation génétique en contexte africain : problèmes pour la caractérisation et l'expérimentation sur le terrain*. In: L'amélioration génétique des bovins. Etude FAO, Production et santé animales, vol. 110, p. 21-36.

La santé animale

À partir des contributions de P. Bonnet (CIRAD), E. Camus (CIRAD)¹, P. Hendrikx (CIRAD), R. Lancelot (CIRAD)

La santé animale reste un obstacle majeur au développement des productions animales en Afrique et dans d'autres régions tropicales.

On assiste actuellement à la ré-émergence de grandes épizooties que l'on croyait, sinon disparues, du moins contrôlées : la péripneumonie bovine et la peste porcine africaine en sont deux exemples frappants. Ces ré-émergences accentuent la nécessité de mettre en place dans les pays et dans les régions tropicales des systèmes d'épidémiologie et d'épidémiologie qui permettent d'intervenir le plus rapidement possible lorsqu'une maladie apparaît.

LE DIAGNOSTIC SANITAIRE

● *Les prélèvements à faire*

Si les animaux présentent des lésions à l'autopsie, il faut bien entendu prélever les organes ou les tissus atteints. Par exemple :

- > un fragment de poumon, dans les pneumonies ;
- > du liquide pleural, dans les pleurésies ;
- > un fragment de muscle lésé, dans les tumeurs musculaires ;
- > du pus, si l'on observe des abcès ;
- > des fèces, dans les entérites.

Si les animaux ne présentent pas de lésions localisées, il y a lieu d'envoyer au laboratoire les prélèvements suivants, effectués de façon systématique :

- > plusieurs frottis de sang sur lame ;
- > du sang, prélevé de préférence à la période agonique sur anticoagulant ;
- > un fragment de rate ;
- > des ganglions lymphatiques non incisés ;
- > un os long, de préférence le canon (métacarpe ou métatarse), qui est désarticulé, soigneusement décharné, puis enveloppé à sec dans de la gaze.

Pour les examens sérologiques, le sérum sanguin, recueilli après coagulation du sang et rétraction du caillot peut être envoyé au laboratoire. Si l'on dispose de flacons stériles, il est commode d'envoyer du sang total prélevé à la seringue et sans anticoagulant.

¹ Chapitre coordonné par E. Camus (CIRAD).

Les tests sérologiques fournissent le maximum d'indications lorsque le sérum est prélevé un certain temps (12 à 15 jours au moins) après le début de la maladie ou pendant la convalescence.

Quelques maladies nécessitent des prélèvements particuliers :

- > *Heartwater et babésiose* : frottis d'écorce cérébrale (en plus du frottis sanguin pour cette dernière) ;
- > *rage* : à partir du cerveau d'un animal suspect et mort naturellement, on doit préparer deux prélèvements à envoyer simultanément au laboratoire : une partie est immergée dans une solution de formol à 10 %, l'autre dans de la glycérine neutre diluée à moitié avec du sérum physiologique. Il faut prendre des précautions (gants) pour éviter les risques d'infection rabique lors de prélèvements suspects ;
- > *affections cutanées* : croûtes, squames, poils des lésions.

Pour les maladies parasitaires (*helminthoses*), il faut envoyer :

- > *des fèces*, dans une solution de formol à 5 % ;
- > *les parasites eux-mêmes*, dans la même solution de formol ou dans de l'alcool à 70°.

Ces recommandations sont valables pour toutes les espèces animales, sauf pour les espèces de très petite taille. Dans ce dernier cas, il est utile d'envoyer des cadavres entiers (et même des animaux malades encore vivants, poussins par exemple).

● **La récolte des prélèvements**

Il faut effectuer les prélèvements sur le cadavre aussitôt après la mort, et jamais plus de six heures après, à moins que, s'agissant d'un petit animal, le cadavre ait pu être conservé au froid. Quand cela est possible, on utilise le cadavre frais d'animaux sacrifiés au cours de la période agonique. On ne peut rien attendre de prélèvements effectués sur des cadavres en voie de putréfaction. Il faut donc faire les prélèvements rapidement, si possible à l'abri du vent et des poussières, très proprement sinon dans des conditions stériles. Les instruments et les récipients doivent avoir subi la température de 100°C (ébullition simple au bain-marie) pendant au moins quinze minutes.

● **L'emballage et l'envoi des prélèvements**

Les récipients contenant les prélèvements doivent pouvoir être placés facilement sous glace, en bouteille thermos ou en emballage isotherme (polystyrène expansé). On choisit de préférence des flacons à vis, des flacons type Pénicilline, des boîtes en matière plastique ou des sachets en polyéthylène. Ces récipients sont étanches, donc solides et bouchés de façon à éviter toute perte de liquide (bouchons spéciaux des flacons type Pénicilline maintenus par un morceau de sparadrap, bouchons de liège ou en caoutchouc cachetés à la cire ou paraffinés). Ils seront enveloppés d'une couche suffisante de coton cardé, de laine de verre ou de mousse plastique, pour amortir les chocs contre les parois du conteneur isotherme et éviter leur bris.

Les flacons ou les récipients contenant les prélèvements doivent pouvoir s'identifier facilement grâce à des étiquettes ou des inscriptions indélébiles : ces indications seront reportées sur la fiche de renseignements.

L'emballage extérieur peut être en bois, en carton ou en métal. Il doit obligatoirement être conçu pour qu'aucun liquide issu des prélèvements ne puisse suinter à l'extérieur. Pour certaines maladies très dangereuses ou à grand pouvoir de diffusion, les organisations sanitaires internationales ont prescrit, dans un souci de sécurité, des normes impératives d'emballage des prélèvements. Ceux-ci doivent être adressés au laboratoire, toujours accompagnés d'une fiche de renseignements dont on trouvera ci-dessous un modèle.

<p>N° de référence :</p> <p>Nom, fonction et adresse de l'expéditeur :</p> <p>Date et lieu du prélèvement (distance en kilomètres d'un centre important et orientation par rapport à ce centre, coordonnées) :</p> <p>Intervalle de temps entre le moment de la mort et celui du prélèvement :</p> <p>Espèce, sexe, âge de l'animal sur lequel a été effectué le prélèvement :</p> <p>Nature du prélèvement :</p> <p>Nature de la recherche demandée :</p> <p>Résultat de l'examen clinique : - de l'animal sur lequel a été effectué le prélèvement : - des autres animaux du troupeau présentant apparemment la même maladie :</p> <p>Résultat de l'autopsie (s'il y a lieu) :</p> <p>Maladie suspectée (s'il y a lieu) :</p> <p>Effectif du troupeau où le prélèvement a été effectué :</p> <p>Nombre de malades dans le troupeau à la date du prélèvement (malades actuels en précisant si la morbidité est en relation avec certains facteurs : âge, sexe, etc.) :</p> <p>Nombre de morts dans le troupeau à la date du prélèvement :</p> <p>Mode et date d'expédition (la date sera indiquée au moins sur l'exemplaire de la fiche qui sera expédiée par la poste) :</p> <p>Observations (sous cette rubrique, on pourra noter toute constatation ou renseignement pouvant présenter un intérêt pour l'orientation du diagnostic) :</p> <p>Traitements effectués avant la mort :</p>
--

➤ Figure 1 : Modèle de fiche de renseignements accompagnant les prélèvements

LES MALADIES ET LES STRATÉGIES DE LUTTE

● *L'épidémiosurveillance*

● **Les enjeux nationaux et internationaux**

Pour lutter contre une maladie animale, il est essentiel de connaître son importance par l'observation d'indicateurs tels que la proportion d'animaux ou de troupeaux touchés dans une zone géographique donnée, sa répartition dans le temps et dans l'espace. L'épidémiosurveillance a pour objectif de donner ces informations aux responsables en santé animale d'un pays pour leur permettre de prendre les décisions appropriées en matière de lutte (vaccination, abattage ou combinaison des deux).

L'épidémiosurveillance représente également un enjeu international :

- > dans l'obligation de déclarations régulières de la situation sanitaire du pays à l'Office international de épizooties, dont la qualité repose sur celle du système d'épidémiosurveillance ;
- > pour l'analyse des risques liés aux échanges d'animaux et de produits d'animaux, dont une composante importante est l'évaluation du système d'épidémiosurveillance produisant les informations sanitaires.

● **Définition**

L'épidémiosurveillance est une méthode fondée sur des enregistrements en continu permettant de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte.

Elle fait exclusivement partie de l'épidémiologie descriptive, son rôle est donc de décrire et non pas d'expliquer un phénomène. Tout au plus elle permet de bâtir des hypothèses que l'on vérifiera ensuite par la mise en place de protocoles d'enquête d'épidémiologie analytique.

C'est un système qui fonctionne en continu, conçu pour être permanent. Il se différencie en cela des enquêtes transversales ou longitudinales limitées dans le temps.

L'épidémiosurveillance s'intéresse à une population, pas à un individu. Ses objectifs doivent donc être d'intérêt collectif. Cette population peut être humaine, animale ou végétale.

Il faut faire la distinction entre épidémiosurveillance et lutte contre les maladies. La première se contente de donner des informations sur la maladie qui vont aider la lutte. Vaccination, abattage, plan d'intervention d'urgence n'en font donc pas partie.

● **L'épidémiovigilance et l'épidémiosurveillance**

Un réseau d'épidémiovigilance a pour objectif la surveillance de la réapparition d'une maladie exotique (qui n'existe pas ou plus dans le pays). Il s'applique donc à la population totale d'un pays (par exemple, l'épidémiovigilance de la peste bovine au Sénégal).

Un réseau d'épidémiosurveillance a, lui, pour objectif la surveillance d'une maladie existante dans un pays. Il peut parfois se contenter de travailler sur un échantillon représentatif de troupeaux (par exemple l'épidémiosurveillance de la péripneumonie contagieuse bovine au Mali). Le réseau est constitué d'un ensemble de personnes structuré pour assurer la surveillance d'une maladie.

Les étapes de l'épidémiosurveillance sont toujours :

- > la récolte des données sur la maladie ;
- > la transmission des données au niveau central ;
- > le traitement des données ;
- > l'interprétation et la diffusion des résultats.

Un réseau doit impliquer l'ensemble des acteurs de la santé animale susceptibles de jouer un rôle, de la récolte jusqu'à l'interprétation des données. Les données peuvent être recueillies dans les élevages, sur les marchés, dans les abattoirs et aux postes frontière.

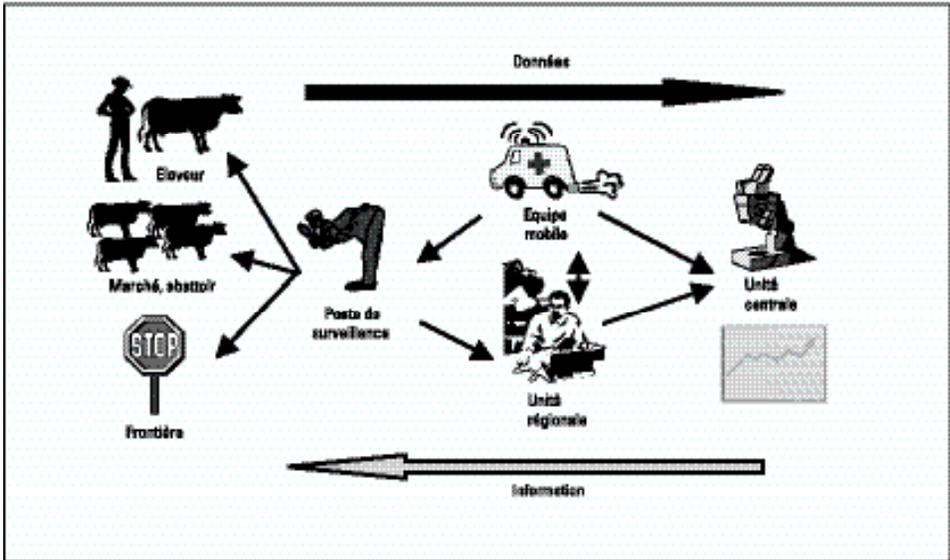
La collecte des données se fait par les intervenants les plus proches du terrain (services vétérinaires publics ou privés) qui doivent entretenir un lien de proximité et de confiance avec les éleveurs (réunions, communication, service).

Un niveau régional (services vétérinaires ou laboratoire régional) assure la validation des données et leur transmission au niveau central. L'unité centrale est chargée de gérer, traiter et interpréter les données (base de données). Elle est composée au mieux de trois personnes : des épidémiologistes des services vétérinaires et du laboratoire de diagnostic et un chargé de communication. L'unité centrale peut disposer d'une équipe mobile pour superviser et appuyer les agents de terrain du réseau, mais cette équipe ne peut en aucun cas assurer seule la surveillance.

L'unité centrale s'appuie sur un comité technique pluridisciplinaire pour la constitution des protocoles de surveillance et l'interprétation des données. Un comité de pilotage regroupant les décideurs de la santé animale est chargé de donner les grandes orientations de l'épidémiosurveillance au niveau national.

Les points clés pour le bon fonctionnement du réseau sont :

- > la formation des intervenants de terrain pour permettre la standardisation des données collectées ainsi que la motivation des acteurs du réseau ;
- > l'implication des éleveurs dans la surveillance par la formation (auxiliaires, groupements) et une communication appropriée ;
- > l'activation de la surveillance par l'organisation de réunions avec les éleveurs et la visite régulière de troupeaux (ne pas seulement attendre les déclarations des éleveurs) ;
- > la formalisation des procédures de surveillance ;
- > le suivi d'indicateurs de performance pour contrôler et évaluer le fonctionnement du réseau ;
- > le retour d'informations du niveau central vers les acteurs de terrain (résultats d'analyse, bulletin épidémiologique, émissions de radio) ;
- > l'interprétation régulière des résultats et leur transmission aux décideurs de la santé animale.



► Figure 2 : La constitution d'un réseau d'épidémiosurveillance

● Les maladies parasitaires

Parmi les maladies parasitaires du bétail, les helminthoses sont les affections les plus fréquentes et les plus graves. Réparties dans le monde entier, elles frappent bovins et petits ruminants. Elles entraînent des pertes économiques considérables directes par des cas de mortalité notamment chez les jeunes animaux ou indirectes en diminuant de manière insidieuse la productivité des animaux et leurs moyens de défense contre les agents infectieux.

Les principales helminthoses peuvent être présentées selon leur localisation chez l'hôte, ce qui a l'avantage de faciliter la diagnose et l'observation des lésions associées.

● Les helminthes du tube digestif

● La paramphistomose des ruminants

Cette maladie est provoquée par la présence en grand nombre dans le rumen de gros vers coniques, gris-blanc ou rosâtres, d'environ 1 à 3 cm. Il s'agit de trématodes paramphistomidés (*Paramphistomum*). Les animaux s'infestent en ingérant des métacercaires émises dans l'eau de boisson par des mollusques aquatiques, hôtes intermédiaires (bulins). Les symptômes de la paramphistomose sont peu spectaculaires et les lésions du rumen discrètes, sauf en cas de très forte infestation. Dans ce cas un traitement s'impose (*Closantel*, *Bitin-S*, etc.). À la coproscopie, la seule difficulté consiste à distinguer les œufs de paramphistomes des œufs de douves, toujours plus grands (plus de 150 microns).

● La toxocarose des veaux ou « ascaridose »

La toxocarose est provoquée par la présence dans l'intestin grêle des jeunes veaux de *Toxocara vitulorum*, gros vers blancs adultes, cylindriques, de 20 à 30 cm.

La vache gestante joue le rôle de l'hôte intermédiaire, et le veau qui s'infeste chez sa mère est donc l'hôte définitif. Le symptôme principal est un mauvais état général mais il arrive fréquemment que des vers adultes se prennent en pelote dans l'intestin, provoquant une occlusion mortelle. Le diagnostic est facile : les œufs de *Toxocara* sont caractérisés par une coque brune, épaisse, granuleuse, facile à reconnaître à la coproscopie ; par ailleurs on trouve très souvent dans les fèces des vers adultes expulsés. Une prophylaxie médicale systématique est recommandée chez les veaux de trois à quatre semaines (*Tétramisole*, *Thiabendazole*, *Ivermectine*, etc.).

● **Le téniasis des ruminants**

C'est une helminthose cosmopolite très fréquente, provoquée par la présence dans l'intestin de longs vers blancs, plats, en forme de ruban segmenté, cestodes anoplécéphalidés pouvant atteindre plusieurs mètres de long. Le genre *Moniezia* est le plus fréquent et le plus pathogène. Chez les animaux adultes, le téniasis ne provoque généralement qu'une faiblesse générale alors que chez les jeunes animaux fortement parasités l'évolution peut être grave avec anémie et convulsions, et même être mortelle. Le diagnostic est aisé car les œufs de forme pyramidale sont très caractéristiques à la coproscopie et il est également facile de reconnaître dans les fèces ou à l'autopsie les anneaux blancs caractéristiques des cestodes. Il est recommandé de traiter les troupeaux dès l'apparition d'un cas confirmé de téniasis (*Niclosamide*, *Fenbendazole*, *Albendazole*, etc.).

● **La strongylose gastro-intestinale**

La strongylose gastro-intestinale est l'helminthose la plus fréquente du bétail. En effet, elle touche, avec plus ou moins de sévérité, tous les pays du monde, aussi bien en zone tempérée qu'en zone tropicale où son incidence est cependant plus marquée en raison de facteurs favorables à sa prolifération tels que la chaleur et l'humidité. La strongylose est provoquée par la présence en grand nombre dans le tube digestif de petits nématodes communément appelés *strongles*, dont les genres plus fréquents sont : *Bunostomum*, *Gaigeria* (intestin grêle), *Oesophagostomum*, *Chabertia* (gros intestin), *Haemonchus*, *Ostertagia*, *Cooperia*, *Trichostrongylus* (intestin grêle, sauf *Haemonchus* et *Ostertagi*, parasites hématophages de la caillette). *Chabertia* et *Ostertagia* sont confinés aux régions d'altitude d'Afrique de l'Est.

L'étude épidémiologique de la strongylose est indispensable pour établir un plan de prophylaxie efficace. Ainsi en zone sahélienne, marquée par une alternance annuelle rigoureuse saison sèche/saison des pluies, les infestations ne se font qu'en période humide, période recommandée pour le traitement car il n'y a pas d'infestation en saison sèche. En zone équatoriale, les infestations sont permanentes et des traitements réguliers sont nécessaires pendant toute l'année.

Les symptômes de la strongylose sont essentiellement la diarrhée suivie d'amaigrissement, anémie et cachexie, puis de la mort des animaux les plus affaiblis ou des plus jeunes victimes d'une primo-infestation en début de saison des pluies dans les zones arides. Les lésions sont celles d'une gastro-entérite sauf dans le cas particulier de l'*oesophagostomose* nodulaire larvaire (présence de nodules blanchâtres de 3 à 5 cm sur l'intestin).

Le diagnostic est basé sur l'observation des œufs à la coproscopie. Ces œufs très semblables entre eux sont caractéristiques du type *strongle* : elliptique à coque fine avec une morula noirâtre, de longueur inférieure à 100 microns. La distinction des genres ne peut cependant se faire que sur des larves L3 obtenues par coproculture. Les adultes, petits vers blancs très fins, sont facilement reconnaissables à l'autopsie. *Haemonchus*, rougeâtre car hématophage, mesure 10 à 20 mm. La prophylaxie par traitements anthelminthiques (*Thiabendazole*, *Tartrate de Morantel*, *Fenbendazole*, *Albendazole*, *Ivermectine*, *Doramectine*, etc.) est basée sur la connaissance des données épidémiologiques.

À cette pathologie strongylienne sont la plupart du temps associées deux autres parasitoses : la strongyloïdose (petits nématodes microscopiques de l'intestin qui n'affectent que les jeunes animaux : *Strongyloides papillosus*) et la coccidiose (Coccidies, *Eimeriidae*, Protozoaires parasites de l'épithélium intestinal). La coccidiose est rapportée ici en raison de sa localisation intestinale et de sa symptomatologie digestive marquée par une entérite hémorragique. Comme la strongyloïdose, la coccidiose est surtout grave pour les très jeunes animaux chez qui ces deux affections, en association avec les strongyloses, constituent une affection poly-parasitaire très pathogène. Dès les premiers signes (diarrhée), un traitement rigoureux doit être instauré en associant aux anthelminthiques un anticoccidien efficace (*Mépacrine*, *Amprol*, préparations à base de sulfamides : *Coccid ND*, *Cozurone ND*, etc.).

● Les helminthes parasites du foie

● La fasciolose des ruminants ou distomatose

La fasciolose est une affection grave consécutive au développement dans les canaux hépatiques de trématodes hématophages de l'une ou l'autre des deux espèces suivantes : la *grande douve*, *Fasciola hepatica* des pays tempérés (moins de 1 cm) et la *douve géante*, *Fasciola gigantica* des pays tropicaux (5 à 8 cm). *F. gigantica*, strictement tropicale, est inféodée aux points d'eau permanents des zones humides où peut s'établir son mollusque hôte intermédiaire *Lymnaea natalensis*, strictement aquatique, tandis que *F. hepatica* passe par une limnée amphibie, *L. truncatula*, adaptée aux zones tempérées (en Afrique : régions d'altitude d'Afrique de l'Est).

Les symptômes de la distomatose chronique sont l'anémie, la diarrhée, l'œdème (signe de la *bouteille*) et la cachexie. Le foie augmente de volume, se durcit et les parois des canaux s'épaississent. À la coupe, les douves mûres rougeâtres, mobiles à la surface du foie, sont facilement identifiables. Une phase aiguë peut précéder la maladie chronique pendant la migration des jeunes douves dans le foie, qui peut être mortelle quand l'infestation est très forte chez des animaux jeunes ou sans défense immunitaire (*maladie émergente*). Le diagnostic de laboratoire est basé sur la reconnaissance des œufs à la coproscopie en faisant attention de ne pas confondre les œufs de douves (160 à 200 microns) et les œufs de paramphistomes plus petits (100 à 150 microns).

Ces œufs n'étant détectables dans les fèces qu'au moins trois mois après l'infestation, un diagnostic sérologique plus précoce peut maintenant être réalisé par la méthode ELISA. La prophylaxie est basée sur la gestion du troupeau, qui doit être conduit hors des zones de contamination : puits, abreuvoirs sur aires cimentées) et sur le traitement des animaux malades (*Nitroxylnil*, *Bitin-S*, *Rafoxanide*, *Albendazole*, *Flukiver*, etc.).

● Les helminthes du système sanguin

● *La schistosomose des ruminants*

La schistosomose est une affection parasitaire tropicale causée par la présence de schistosomes (trématodes, schistosomidés) mâles et femelles de 1 à 2 cm dans les veines mésentériques et le système porte. Deux espèces sont communes en Afrique de l'Ouest : *Schistosoma bovis* (bovins) et *S. curassoni* (petits ruminants). Le cycle évolutif nécessite le passage chez des mollusques hôtes intermédiaires du genre *Bulinus*, localisés dans des points d'eau (marigots). Les symptômes sont discrets et ne se traduisent que par une baisse de l'état général sauf dans les zones nouvellement atteintes chez des animaux sensibles. Dans ce cas, les néo-infestations sont très graves et suivies de nombreux cas de mortalité (maladie émergente).

Le diagnostic peut être fait à la coproscopie par l'identification des œufs en fuseau et de grande taille (jusqu'à 240 microns). À l'autopsie, les adultes sont visibles par transparence dans les veines mésentériques. Comme pour la distomatose, la prophylaxie consiste à interdire aux troupeaux l'accès aux points d'eau contaminés. Les traitements actuels sont empruntés à la santé humaine (*Praziquante* ou *Biltricide ND* en santé humaine).

● Les helminthes du système respiratoire

● *La strongylose respiratoire des ruminants*

Cette affection est provoquée par la présence de nématodes dans l'appareil respiratoire tels que *Dictyocaulus* (trachée et grosses bronches) et *Protostrongylus* (bronchioles), etc. La strongylose respiratoire concerne surtout les pays tempérés. En Afrique, on la rencontre en Afrique du Nord et en Afrique du Sud. Elle est pratiquement inexistante en Afrique intertropicale. La forme habituelle est une bronchite chronique avec toux et jetage, qui peut être confondue en zone tropicale avec l'œstrose. Si le diagnostic clinique est confirmé, le traitement indiqué est le même que pour la strongylose digestive.

● Les helminthes à localisations diverses

● *Localisation musculaire : la ladrerie bovine*

La ladrerie est une cestodose larvaire cosmopolite due à la présence dans les muscles striés des bovins de petits cysticerques (moins de 1 cm) : *Cysticercus bovis*, larve de *Taenia saginata* de l'homme. Ce dernier s'infeste en mangeant la viande contaminée crue ou peu cuite. En santé humaine, la prophylaxie est basée sur la lutte contre le péril fécal, le contrôle aux abattoirs et la consommation de viande correctement cuite.

● « *Localisation générale* » : *la cysticercose hépato-péritonéale des petits ruminants*

Il s'agit de la présence de larves cysticerques de *Taenia hydatigena* du chien et d'autres carnivores : *Cysticercus tenuicollis*. Ces larves se présentent sous la forme de petites boules flasques et translucides (contrairement à l'échinococcose). Très fréquentes dans la cavité générale, ces cysticerques ne sont pas pathogènes sauf en cas d'invasion massive suivie de saisie. La prophylaxie vise à empêcher la réalisation du cycle en détruisant les cysticerques saisis et à vermifuger les chiens.

● **Localisation oculaire : la thélaziose oculaire bovine**

La thélaziose est provoquée par la présence de petits nématodes blancs, longs de 7 à 15 mm du genre *Thelazia*, transmis par les mouches des parcs à bestiaux. Elle entraîne une irritation plus ou moins forte pouvant se compliquer d'une kératite voire d'une cécité partielle ou totale. Le diagnostic se fait par observation des petits vers blancs mobiles à la surface de l'œil ou dans le cul de sac conjonctival. Les traitements sous forme de collyres sont les plus pratiques (*Tartrate de Morantel*, *Lévamisole*, etc.). La prophylaxie est basée sur la protection du bétail contre les mouches.

● **Conclusion**

Bien que parfaitement identifiables, les helminthoses sont le plus souvent associées entre elles, voire à d'autres endoparasites. L'ensemble constitue un polyparasitisme d'autant plus grave qu'il y a de parasites associés. Dans le tube digestif des jeunes animaux, l'association *strongles-strongyloïdes-coccidies* est la plus fréquente. S'ajoutent plus tard à cette première grille ténias et douves en zone humide. Outre le parasitisme cutané (gales), cavitaire (oestre), des hémoparasites graves (trypanosomes, piroplasmés, rickettsies, etc.) viennent souvent aggraver le tableau parasitologique. Un bon diagnostic différentiel est nécessaire pour orienter l'intervention vers la parasitose dominante, sans toutefois négliger les autres. Les mesures prophylactiques et thérapeutiques recommandées ne suffisent pas. Il faut aussi prendre des mesures pour améliorer l'alimentation qui joue un rôle essentiel dans l'équilibre hôte-parasite.

● **Les hémoparasitoses et la cowdriose**

● **L'anaplasmose**

L'anaplasmose affecte essentiellement les bovins. Elle est due à une rickettsie parasite des hématies (globules rouges du sang) et est transmise par des tiques (*Boophilus*) et des mouches piqueuses (taons, stomoxes). Il existe une forme bénigne, due à *Anaplasma centrale*, et une forme grave, due à *A. marginale*, caractérisée par de l'hyperthermie, une anémie intense, de l'ictère sans hémoglobinurie. L'anaplasmose est souvent associée à une piroplasmose ou une theilériose.

● **Le traitement**

Tétracyclines ou imidocarbe

● **La prophylaxie**

- > Lutte contre les tiques ;
- > contrôle des mouches piqueuses (souvent difficile) ;
- > prémunition par inoculation d'une souche peu virulente d'*A. centrale*.

● **Babésioses (piroplasmoses)**

Les babésioses affectent les mammifères et les oiseaux. Elles sont provoquées par la multiplication dans les hématies de protozoaires microscopiques. La transmission s'effectue par l'intermédiaire de tiques (*Boophilus* chez les bovins, *Rhipicephalus* chez les moutons, *Dermacentor*, *Hyalomma* et *Rhipicephalus* chez le cheval).

Les symptômes sont l'hyperthermie, l'anémie, l'ictère et l'hémoglobinurie. Les races bovines locales ne présentent que rarement des formes cliniques (sauf en cas d'affection intercurrente). Les races importées y sont beaucoup plus sensibles.

● **Le traitement**

- > *Diminazène (Bérenil)* : injections intramusculaires (solution à 7 %) ; tous animaux : 3,5 mg/kg ;
- > *Imidocarbe (Carbesia)* : injections intramusculaires (solution à 12 %) : 1-2 mg/kg (curatif), 2 mg/kg (préventif).

● **La prophylaxie**

- > Lutte contre les tiques ;
- > vaccination du bétail sensible (vaccin atténué disponible dans certaines régions).

● **Theilérioses**

Les theilérioses sont dues à la multiplication, dans les hématies et les cellules du système réticulo-endothélial des bovins, de protozoaires microscopiques, transmis par des tiques.

Deux formes graves sont décrites :

- > la theilériose afrotropicale (fièvre de la côte orientale : *East Coast Fever*), due à *Th. parva*, transmise par la tique *Rhipicephalus appendiculatus*. Il s'agit d'une affection des pâturages de savanes d'altitude (800 à 2 000 m) d'Afrique orientale et australe ;
- > la theilériose méditerranéenne et moyen-orientale des steppes, due à *Th. annulata*, transmise par des tiques du genre *Hyalomma*.

Une forme bénigne existe également, due à *Th. mutans*.

Les symptômes des formes graves sont les suivants : hyperthermie, anémie profonde, adénite des ganglions superficiels, mortalité élevée.

● **Le traitement**

- > *Parvaquone (Clexon)* : en intramusculaire 10 mg/kg x 2 à 48 heures ;
- > *Halofuginone (Sténorol)* : par voie orale 0,6 mg/kg x 2 à 48 heures.

● **La prophylaxie**

- > Lutte contre les tiques ;
- > vaccins (infection-traitement pour *Th. parva*, vaccin atténué pour *Th. annulata*).

● **Trypanosomoses**

Elles affectent l'homme et les animaux domestiques ou sauvages. Elles sont provoquées par la multiplication dans le plasma sanguin de protozoaires flagellés, les trypanosomes. La transmission est assurée par des insectes piqueurs (taons, stomoxes), et surtout glossines (mouches tsé-tsé), à l'exception de la dourine, maladie des chevaux transmise par le coït.

Les symptômes sont ceux de maladies chroniques à évolution lente : anémie, amaigrissement, cachexie, œdèmes sous-cutanés, troubles nerveux, kératites ulcératives, mort.

● **Le traitement**

- > *Diminazène (Bérénil)* : injection sous-cutanée ou intramusculaire (solution à 7 %) : bovins, ovins, caprins : 3,5 mg/kg de poids ;
- > *Chlorure d'isométymidium (Trypamidium)* : injection intramusculaire, 0,25 à 1 mg/kg. À la dose de 0,5 à 2 mg/kg, la protection peut durer 3 à 8 mois.

● **Cowdriose (Heartwater)**

La cowdriose est une maladie grave affectant les ruminants, transmise par certaines espèces de tiques (genre *Amblyomma*), due à une rickettsie spécifique (*Ehrlichia ruminantium*) et caractérisée par une évolution fébrile courte et une issue le plus souvent fatale, précédée de signes nerveux : grincements de dents, chute sur le sol, mouvements prolongés de galop en position couchée. La lésion la plus caractéristique est la présence d'un exsudat inflammatoire abondant dans le péricarde (d'où le nom anglais de *Heartwater*).

La mortalité est toujours plus élevée chez les petits ruminants et chez les bovins de race exotique.

● **Le traitement**

Antibiotiques du groupe tétracycline, à fortes doses et très précocement ; leur efficacité est illusoire si les signes nerveux sont apparus.

● **La prophylaxie**

Essentiellement par la lutte contre les tiques (voir bains et aspersion ixodocides). En Afrique du Sud, on utilise, pour les moutons mérinos par exemple, une méthode de prémunition (infection/traitement) ; elle ne peut être pratiquée que par des techniciens spécialisés et sur des troupeaux surveillés.

● **Les vecteurs des maladies du bétail et leur contrôle**

● **Les vecteurs**

Les principaux vecteurs de maladies animales sont les tiques et les diptères piqueurs incluant les glossines :

- > *les tiques* transmettent d'importantes maladies du bétail, hémoparasitoses pour la plupart : l'anaplasmose, les babésioses, les theilérioses, mais également la cowdriose. Les tiques sont également associées à la dermatophilose aiguë ;
- > *les glossines* ou mouches tsé-tsé transmettent les trypanosomes (maladie du sommeil) aux animaux et aux hommes en Afrique ;
- > *les autres mouches piqueuses* transmettent de nombreuses maladies au bétail : anaplasmose, trypanosomoses, bactéries et virus. Les principales mouches piqueuses sont les taons, les stomoxes, les haematobia.

● Le contrôle des vecteurs

● La lutte écologique

Il s'agit d'intervenir sur le milieu par :

- > déboisement, éclaircissement du sous-bois, partiel ou sélectif ;
- > enlèvement ou stérilisation par la méthode biothermique des fumiers (lutte contre les stomoxes) ;
- > drainage des marécages et faucardage des cours d'eau (lutte contre les taons) ;
- > rotation des pâturages (lutte contre les tiques).

● La lutte biologique

La stérilisation des mâles de glossines d'élevage et leur relargage à grande échelle est employée pour éliminer les glossines de régions isolées par des barrières naturelles.

Les parasitoïdes de stomoxes sont utilisés pour leur contrôle (par exemple à l'île Maurice et à la Réunion).

Les prédateurs de tiques (nématodes, fourmis...) n'ont pas encore démontré une efficacité suffisante pour être largement utilisés.

● La lutte chimique

Les insecticides restent le premier moyen de lutter contre tiques et insectes. De nouvelles familles d'insecticides de synthèse, notamment à base de pyrèthre, ont remplacé les organochlorés et organophosphorés. Leur persistance est plus grande et leur toxicité pour le milieu moindre. Malheureusement, de plus en plus de résistances apparaissent vis-à-vis de ces insecticides.

Ils sont appliqués de diverses manières :

- > *en bains* : le bétail est plongé dans une solution insecticide dont la concentration doit être régulièrement réajustée (lutte contre les tiques et contre les mouches) ;
- > *en douches fixes ou mobiles* : le bétail passe au travers de jets de solutions insecticides (contre tiques et mouches) ;
- > *en aspersion* : avec des pulvérisateurs à dos qui permettent le traitement d'une dizaine de bovins (contre tiques et mouches) ;
- > *en dépôt dorsal ou latéral (pour-on et spot-on)* : méthodes utilisables lorsqu'une contention du bétail est assurée (contre tiques et mouches) ;
- > *en piégeage* avec des pièges imprégnés d'insecticides (contre les glossines et les taons) ;
- > *en pulvérisation aérienne sur la végétation* : destinée à contrôler les glossines, cette méthode est de moins en moins utilisée en raison de son manque de sélectivité et du risque élevé de pollution de l'environnement ;
- > *sous la forme de plaquettes ou d'anneaux imprégnés d'insecticides* et fixés à l'oreille ou à la queue du bétail (contre les tiques).

Lors d'une application directe d'insecticide sur les animaux, des précautions doivent être prises pour éviter les accidents :

- > ne pas traiter les veaux de moins de deux mois, les femelles en fin de gestation, les animaux porteurs de plaies ou fatigués ;
- > laisser les animaux au repos plusieurs heures avant de les traiter et les abreuver ;
- > traiter de préférence le matin en évitant le grand soleil.

● **Les maladies contagieuses**

● **Fièvre catarrhale (blue-tongue)**

C'est une maladie propre aux ruminants et atteignant essentiellement le mouton, due à un virus spécifique (il existe au moins 24 types immunogéniques) et transmise par des insectes piqueurs (maladie des saisons chaudes et pluvieuses). Elle se manifeste surtout par une stomatite ulcéreuse et une congestion des tissus du pied, visible sur le bourrelet. L'état général des animaux est très altéré et la toison s'en va en lambeaux. En raison de leur rusticité, les races ovines des pays tropicaux ne présentent pas de symptôme.

● **Le traitement**

On ne peut employer que des médicaments symptomatiques.

● **La prophylaxie**

On lutte contre les insectes vecteurs par la pratique des bains insecticides. ainsi que par la vaccination contre le sérotype identifié.

● **Brucellose (avortement contagieux des ruminants, avortement épizootique)**

Cette maladie infectieuse due aux germes du genre *Brucella* (*Brucella abortus*, *B. melitensis*, *B. suis*) provoque des avortements répétés (assez tardifs) chez les femelles infectées. Bien qu'elle atteigne essentiellement les vaches, les brebis et les chèvres, elle peut toucher d'autres espèces de mammifères (cheval, porc) et se transmettre à l'homme (syndrome de la fièvre ondulante, fièvre de Malte), par le lait ou par d'autres sécrétions ou excréments virulentes.

Si l'avortement et la non-délivrance sont les symptômes majeurs, il peut exister cependant d'autres localisations : synovites articulaires, hygromas, lésions osseuses.

● **Le traitement**

Il n'est jamais appliqué chez l'animal vu son prix de revient et l'incertitude de la guérison bactériologique.

● **La prophylaxie**

Les effectifs sains doivent être contrôlés périodiquement par les tests sérologiques. Les animaux infectés doivent être éliminés. Les animaux importés ou achetés doivent subir une quarantaine et un test sérologique (épreuve à l'antigène tamponné, fixation du complément, ELISA).

Le dépistage des troupeaux atteints peut facilement s'effectuer par le moyen du test de l'anneau pratiqué sur des échantillons de lait ou de l'agglutination rapide sur lame avec l'antigène coloré tamponné acidifié (dit au Rose Bengale).

Les locaux où ont lieu des avortements sont à désinfecter soigneusement.

L'application des mesures sanitaires efficaces est impossible en élevage extensif.

La vaccination par la souche vivante *B. abortus* 19 (voie sous-cutanée) est depuis longtemps la principale solution : elle est à réserver surtout aux jeunes femelles impubères (génisses de 4 à 6 mois) et, dans ces conditions, interfère peu sur le dépistage ; la séro-conversion post-vaccinale disparaît en effet à l'âge de 18 mois. Les vaches adultes peuvent être vaccinées lorsqu'elles sont non gestantes (voie conjonctivale).

Pour les petits ruminants, la vaccination par la sonde Rev1 peut être pratiquée sur des jeunes femelles de trois à neuf mois, soit par voie sous-cutanée (interférence sérologique disparaissant à l'âge de 18 mois chez les ovins, un an chez les caprins), soit par voie conjonctivale. Chez les adultes, il faut éviter la période de gestation et de lactation ou utiliser le vaccin administrable par voie conjonctivale.

● **Charbon bactérien (septicémie ou fièvre charbonneuse)**

Cette maladie infectieuse grave, provoquée par la bactérie charbonneuse (*Bacillus anthracis*), atteint surtout les herbivores mais peut infecter de nombreuses espèces domestiques et l'homme (pustule maligne après contamination par voie cutanée et formes pulmonaires ou intestinales mortelles après inhalation ou ingestion des spores).

Dans la majorité des cas, elle est caractérisée par une évolution fatale, accompagnée de signes généraux graves. Le diagnostic s'effectue surtout en observant les lésions classiques : sang noir, urine brune, rate hypertrophiée et boueuse. Il existe des formes œdémateuses du charbon bactérien centrées sur des nœuds lymphatiques.

● **Le traitement**

Tous les antibiotiques actifs sur les germes gram positifs sont utilisables (pénicilline surtout) ; pour être efficace, ce traitement doit être précoce et intensif. On peut lui associer l'injection de sérum anti-charbonneux.

● **La prophylaxie**

- > Eviter la pâture sur les zones contaminées ;
- > ne jamais saigner les malades *in extremis* et ne jamais dépouiller les cadavres ; ceux-ci seront détruits par le feu ou profondément enfouis ;
- > vacciner une fois par an les troupeaux exposés à la contamination (vaccin sporulé vivant avirulent).

● **Charbon symptomatique (ou charbon à tumeurs ou bactérien)**

Cette maladie infectieuse grave, appartenant au groupe des gangrènes gazeuses, provoquée par un germe anaérobie (*Clostridium chauvoei*), se rencontre surtout chez les bovins, bien qu'on puisse l'observer sur d'autres espèces de mammifères. Elle se caractérise par l'évolution d'une ou plusieurs tumeurs gangréneuses gazeuses au sein des masses musculaires. L'évolution est rapide et le plus souvent mortelle.

● **Le traitement**

Pénicilline associée aux injections de sérum anti-charbon symptomatique (ou à défaut de sérum anti-gangreneux polyvalent).

● **La prophylaxie**

Dans les zones d'enzootie, la vaccination annuelle est nécessaire. On emploie un vaccin tué (anaculture formolée) qui donne d'excellents résultats.

● **Dermatophilose contagieuse des bovidés (streptothricose ou «gale»)**

C'est une maladie infectieuse due à un germe de l'ordre des Actinomycètes (*Dermatophilus congolensis*), à évolution saisonnière, caractérisée par les lésions croûteuses de l'épiderme atteignant essentiellement les bovins (taurins et zébus) des régions tropicales. Elle peut cependant infecter les petits ruminants (moutons et chèvres) et les équidés. Les lésions de la peau, qui ressemblent à des lésions mycosiques, peuvent confluer et recouvrir tout le revêtement cutané de l'animal : il en résulte un amaigrissement considérable et la mort peut survenir par misère physiologique.

L'infection est transmise à la faveur d'une lésion cutanée et est donc favorisée essentiellement par les plaies dues à la végétation épineuse et aux lésions provoquées par les tiques ; l'hygrométrie élevée de la saison des pluies est un facteur favorisant.

● **Le traitement**

De très nombreux traitements sont préconisés, mais aucun n'assure vraiment des résultats constants. Les soins locaux sont très importants (brossage et décapage des lésions, suivis d'application locale d'antiseptiques).

Le traitement général de la dermatophilose des bovidés se fait surtout par l'emploi d'antibiotiques (pénicilline, streptomycine, tétracycline, chloramphénicol) ; on conseille actuellement l'association pénicilline-streptomycine, en une injection unique, à la posologie suivante : pénicilline : 75.000 UI/kg, streptomycine : 75 mg/kg.

● **La prophylaxie**

La lutte contre les tiques (par des bains et des aspersions ixodocides), de façon très régulière, est certainement le meilleur moyen.

● **Fièvre aphteuse**

Maladie très contagieuse des ruminants et des suidés, due à un virus spécifique (dont il existe sept types immunogéniques), elle est caractérisée par un syndrome fébrile aigu, suivi d'un exanthème vésiculeux de la muqueuse buccale, des espaces interdigités et de la mamelle.

En Afrique, la maladie se présente généralement sous forme bénigne, évoluant en une à deux semaines et ne laissant généralement aucune séquelle. En revanche, elle se révèle très grave en Amérique du Sud. Seuls les veaux courent le risque de subir une évolution mortelle.

● **Le traitement**

Aucune médication spécifique connue.

● **La prophylaxie**

La prophylaxie médicale utilise des vaccins inactivés surtout pour les reproducteurs importés, les troupeaux des stations zootechniques, les vaches d'unités laitières, etc. Son coût est un facteur limitant sérieux ; les vaccins sont toujours choisis en fonction des types immunogéniques responsables de l'épizootie.

● **Péripleurite contagieuse des bovidés**

C'est une maladie grave, contagieuse, due à un germe du groupe des mycoplasmes (*Mycoplasma mycoides* var *mycoides*), caractérisée cliniquement par l'évolution d'une pleuropneumonie exsudative en général subaiguë ou chronique, à évolution très souvent fatale. Les principaux signes sont la toux, la difficulté respiratoire, l'altération grave de l'état général. Les lésions du poumon et la pleurite sont des plus caractéristiques et l'exsudat pleural souvent très abondant.

● **Le traitement**

D'une façon générale, il est déconseillé car les animaux guéris ne sont souvent que « blanchis », et restent porteurs de germes dangereux qui disséminent la maladie.

● **La prophylaxie**

- > isolement précoce des malades qu'on essaiera d'éliminer par envoi différé ou immédiat à l'abattoir ;
- > désinfection totale des locaux et du matériel, si possible ;
- > vaccination des animaux sains par un vaccin vivant de culture (souches T₁SR ou T₁44). En zone d'enzootie, cette vaccination est à répéter annuellement et, dans les troupeaux infectés, on essaie d'accélérer la disparition de la maladie en pratiquant des vaccinations systématiques tous les trois ou six mois. L'emploi d'un vaccin vivant contre la péripleurite doit toujours se faire avec prudence, étant donné les différences de sensibilité entre les races bovines ou même entre les différents troupeaux d'une même région. En tout état de cause, il faut se conformer à la lettre aux instructions fournies par le laboratoire producteur du vaccin ;
- > le dépistage sérologique des animaux infectés inapparents et leur élimination sans délai deviennent des mesures absolument nécessaires pour l'éradication définitive de la maladie lorsque celle-ci n'a plus qu'un taux d'incidence très bas ;
- > en zone d'enzootie, surveillance permanente et méthodique des effectifs sains (régularité des examens cliniques et sérologiques).

● **Peste bovine**

Maladie infectieuse, contagieuse, due à un virus spécifique, elle atteint essentiellement les bovidés (taurins, zébus, buffles, antilopes), parfois les suidés.

Elle est caractérisée cliniquement par un syndrome fébrile aigu (parfois subaigu) suivi assez rapidement par un catarrhe hémorragique sévère de toutes les muqueuses de l'organisme, visible surtout sur le tractus digestif (diarrhée muqueuse et hémorragique). Il s'y associe des lésions ulcératives, souvent recouvertes de fausses membranes d'allure croupale (très visible sur la muqueuse gingivale).

La mortalité est très élevée : 90 à 100 % sur les troupeaux des régions jusqu'alors indemnes. La maladie, qui passe par vagues épizootiques sur du cheptel neuf, a tendance à devenir enzootique et plus discrète dans les régions où elle sévit depuis longtemps.

Son diagnostic peut être rendu difficile s'il existe dans une même région peste bovine et diarrhée bovine à virus (maladie des muqueuses).

● **Le traitement**

Il ne peut être que symptomatique car il n'existe aucune thérapie spécifique efficace.

● **La prophylaxie**

Toutes les mesures sanitaires applicables aux grandes maladies contagieuses (isolement des malades, quarantaine pour les suspects, interdiction des marchés et des déplacements d'animaux, etc.) sont ici de règle.

La vaccination, efficace, est absolument nécessaire en zone d'enzootie. Le vaccin est préparé à l'aide d'un virus atténué. Une seule injection assure une protection pour 5 ans au moins. Pour garantir l'efficacité du vaccin, la chaîne du froid doit impérativement être respectée jusqu'au lieu de vaccination : - 20°C pour le vaccin lyophilisé et reconstitution dans du sérum physiologique ou une solution molaire de sulfate de magnésium refroidie.

● **Peste des petits ruminants**

Cette maladie infectieuse, contagieuse, est due à un virus spécifique proche de celui de la peste bovine, atteignant les petits ruminants et plus particulièrement les chèvres. Elle est caractérisée cliniquement par un syndrome de pneumo-entérite avec atteinte des muqueuses digestives (érosions visibles dans la cavité buccale). La mortalité est très élevée, de l'ordre de 50 à 100 %.

● **Le traitement**

Aucun traitement spécifique mais il est conseillé de traiter aux antibiotiques pour éviter les complications bactériennes.

● **La prophylaxie**

La vaccination est recommandée avec un vaccin homologue.

● **Peste équine**

Maladie infectieuse due à un virus spécifique, elle atteint exclusivement les équidés et est transmise par des insectes (culicoïdes, stomoxes, taons). Sévissant surtout pendant la saison des pluies, elle est caractérisée par un syndrome fébrile aigu ou subaigu, des œdèmes du poumon et du tissu sous-cutané, des exsudats dans les séreuses et des phénomènes hémorragiques dans divers tissus.

C'est une maladie toujours mortelle pour le cheval non vacciné. Les mulets et les ânes, plus résistants, sont souvent atteints de formes frustes ou occultes de la maladie.

● **Le traitement**

Il n'existe aucune thérapie efficace.

● **La prophylaxie**

- > Lutte contre les insectes (bains ou aspersions insecticides) ;
- > vaccination : c'est la méthode la plus efficace (fortement conseillée en zone d'enzootie). Les vaccins sont préparés seulement par quelques laboratoires spécialisés : comme le virus de la peste équine comporte de nombreux types immunologiques, il est indispensable que les vaccins destinés à une région donnée soient préparés avec des types du virus rencontrés dans cette région.

● **Peste porcine africaine (maladie de Montgomery)**

Cette maladie très contagieuse des suidés est due à un virus spécifique, à symptomatologie presque identique à celle de la peste porcine classique, et dont le diagnostic différentiel ne peut être assuré que par des tests de laboratoire. Elle est caractérisée par un syndrome fébrile à évolution rapide et une mortalité très élevée (jusqu'à 100 %). Les lésions macroscopiques sont semblables à celles de la peste classique.

Les suidés sauvages (phacochère, hylochère, potamochère) font des infections inapparentes, mais contagieuses et constituent des réservoirs de virus. Certaines tiques (genre *Ornithodoros*) hébergent le virus pendant de longues périodes et contaminent ces animaux par piqûre ; elles ont un rôle important dans le cycle naturel d'entretien de la maladie.

● **Le traitement**

Aucun traitement connu à l'heure actuelle.

● **La prophylaxie**

- > Mesures sanitaires classiques : l'abattage des malades et des contaminés (*stamping-out*) est nécessaire pour éteindre les foyers ;
 - > éviter les contacts entre porcs domestiques et suidés sauvages ;
 - > pulvériser régulièrement des produits insecticides ou acaricides dans les élevages.
- Aucun procédé de vaccination n'est au point pour l'instant.

● **Peste porcine classique**

Maladie très contagieuse des suidés, elle est due à un virus spécifique, à évolution aiguë (chronique cependant dans certains cas), de type septicémique, caractérisée cliniquement par une évolution fébrile accompagnée d'un syndrome hémorragique généralisé. Les signes associés le plus fréquemment sont une conjonctivite suppurée, des troubles respiratoires, une diarrhée liquide violente, une parésie du train postérieur, une congestion voire des hémorragies cutanées localisées au groin, aux oreilles, à l'abdomen.

La mortalité est élevée (jusqu'à 95 % des effectifs) et pratiquement égale à la morbidité.

● **Le traitement**

Aucune thérapie n'est efficace.

● **La prophylaxie**

- > Mesures sanitaires strictes : l'abattage des malades et des contaminés est fortement recommandé (sinon prescrit par la loi) ;
- > vaccination des effectifs sains par des vaccins vivants : on dispose aujourd'hui de souches vaccinales qui n'ont plus de pouvoir pathogène résiduel.

● **Pleuropneumonie contagieuse de la chèvre**

C'est une maladie grave, très contagieuse, due à un germe du groupe des mycoplasmes (*Mycoplasma capricolum* subsp. *capripneumoniae*), caractérisée cliniquement par une pleuropneumonie exsudative, dont les lésions ressemblent beaucoup à celles de la péripneumonie bovine. Cette maladie particulière aux caprins est mortelle en règle générale : elle est à distinguer des autres pneumopathies de la chèvre, à étiologie souvent complexe (virus de la peste des petits ruminants, para-myxovirus, *Pasteurella*, divers mycoplasmes, etc.).

● **Le traitement**

Antibiotiques du groupe tétracycline, tylosine ou spiramycine

● **La prophylaxie**

- > Protection des animaux contre le froid et les intempéries ;
- > isolement et séquestration des malades ;
- > désinfection des locaux et du matériel.

● **Rage**

Maladie très grave de l'homme et des animaux domestiques due au virus rabique, elle est caractérisée par un syndrome nerveux se terminant inéluctablement par une paralysie envahissante mortelle.

Les signes de suspicion de la rage sont :

- > les anomalies du comportement (changement de caractère) ;
- > l'agressivité et les crises de fureur ;
- > l'alternance de périodes d'excitation et de périodes de torpeur ou d'hébétude ;
- > l'ingestion d'objets divers ;
- > le changement du timbre de la voix (qui devient voilée ou plus rauque) ;
- > l'impossibilité de déglutir même des liquides ;
- > l'hydrophobie ou peur de l'eau : classique chez l'homme et rare chez les animaux ;
- > l'apparition de troubles moteurs (démarche ébrieuse ou ataxique, parésie du train postérieur, mâchoire inférieure pendante).

Le diagnostic doit être assuré par un laboratoire spécialisé.

● **Le traitement**

Aucun.

● La prophylaxie

La prévention de la rage animale et la protection des humains qui ont été contaminés par morsure ou par simple contact avec des animaux enragés, sont assurées par un certain nombre de mesures décidées par les services vétérinaires ou médicaux, dès qu'il existe une suspicion de rage (*a fortiori*, lorsqu'un diagnostic certain est effectué).

Dans les pays où la maladie existe, la mort d'un mammifère familier (chat, chien, civette, singe, etc.) ayant présenté des signes d'hébétude et de paralysie doit faire penser à la rage.

Il ne faut jamais abattre (sauf impossibilité totale) un animal suspect de rage : le capturer ou l'enfermer en le mettant hors d'état de nuire (période d'observation obligatoire), et prévenir immédiatement le vétérinaire ou le médecin du lieu, qui prendra toutes mesures utiles et effectuera l'examen clinique et les prélèvements nécessaires. Les gens mordus doivent sans délai s'adresser à leur médecin.

La prophylaxie médicale de masse n'est possible que chez le chien et chez les bovins : chez ces derniers, la vaccination peut être effectuée au moyen de vaccins inactivés ou de vaccins vivants.

Dans les pays où la rage est transmise par les vampires (Amérique tropicale), indépendamment de la vaccination, il est recommandé d'abriter les animaux pour la nuit dans des étables à portes et fenêtres grillagées.

● Tuberculose

C'est une maladie contagieuse, à évolution le plus souvent chronique, due au bacille tuberculeux ou bacille de Koch dont il existe plusieurs types : humain (*Mycobacterium tuberculosis*), bovin (*M. bovis*) et aviaire (*M. avium*). Tous les mammifères et les oiseaux domestiques peuvent être atteints et la contamination homme-bovin ou bovin-homme est fréquente.

Les lésions tuberculeuses ont des caractères très particuliers, qui les rendent facilement reconnaissables dans la majorité des cas (tubercules, grains, processus de caséification, atteinte constante des ganglions lymphatiques) mais leurs localisations sont très diverses. Les formes cliniques les plus fréquentes et les plus dangereuses au titre de la contagion sont la forme pleuro-pulmonaire, la forme digestive ou intestinale, la forme génitale et la mammites tuberculeuse.

Les animaux parvenus à un stade lésionnel très avancé ne sont pas obligatoirement en mauvais état général : ils peuvent présenter tous les signes apparents d'une bonne santé. Le diagnostic clinique doit toujours être confirmé par un test tuberculique positif.

● Le traitement

À n'entreprendre en aucun cas sur les animaux car ses résultats sont des plus aléatoires et son prix de revient fort onéreux. En outre, on risque de conserver des porteurs de germes.

● La prophylaxie

La tuberculose est l'objet d'une législation sanitaire très approfondie dans tous les pays qui essaient de l'éliminer. Les règles générales suivantes sont préconisées :

- > abattage sans délai des animaux malades ;
- > surveillance du cheptel par des tests tuberculiniques réguliers ;
- > envoi à la boucherie des animaux réagissant positivement à la tuberculination ;
- > reconstitution de troupeaux indemnes, avec des noyaux d'animaux sains.

● Les maladies multifactorielles

● Définition et concepts

Par définition, les maladies multifactorielles sont des pathologies dont l'apparition et l'expression sont contrôlées par un ensemble complexe de facteurs ou de marqueurs de risque. Les formes cliniques sont souvent frustes et variables d'un individu à l'autre. Elles incriminent rarement des germes pathogènes majeurs et, en tout état de cause, il est impossible de déterminer un agent particulier responsable de ces affections : les analyses de laboratoires révèlent dans la plupart des cas une association de plusieurs germes, variable d'un individu à l'autre et d'un élevage à l'autre. Ces maladies ne vérifient donc pas le postulat de Koch déterminant les conditions nécessaires et suffisantes pour établir une relation de causalité entre un germe pathogène et une maladie.

Postulat de Koch

Une relation causale entre un agent pathogène et une maladie peut être acceptée si :

- cet agent peut être isolé en culture pure pour tout cas de la maladie ;
- il n'est pas retrouvé dans des cas d'autres maladies ;
- il reproduit la maladie chez des animaux d'expériences ;
- il est isolé chez ces animaux d'expériences.

Ces syndromes sont plutôt caractérisés par leur allure épidémiologique. Ils touchent en général des espèces et des systèmes d'élevage bien définis, et surviennent dans une forte proportion des élevages d'une région donnée. La morbidité est forte, mais la mortalité est faible sur une courte période (elle peut être considérable quand on la cumule sur une année). Les variations saisonnières de l'incidence sont marquées, mais la maladie se répète régulièrement d'une année sur l'autre. Enfin, ces pathologies ont toujours un coût économique élevé, même si leur forme épidémiologique diffuse leur donne un aspect moins spectaculaire que les grandes endémies.

Ces maladies ont d'abord été décrites dans les systèmes d'élevage intensifs des pays industrialisés et ont parfois été qualifiées de *technopathies*. Elles sont, en effet, considérées comme révélatrices d'une inadéquation entre les besoins des animaux et les conditions d'élevage : logement, hygiène et microbisme, alimentation, intensité de la production, etc.

À la notion classique de cause (un germe, une maladie) se substitue donc la notion de facteur de risque (un système déséquilibré, une plus grande fréquence des problèmes sanitaires). Les maladies multifactorielles sont de plus en plus étudiées dans les pays tropicaux.

● Méthode d'investigation

L'analyse de ces situations de déséquilibre doit prendre en compte les caractéristiques de ces systèmes, notamment leur complexité. Elle doit porter sur l'ensemble des facteurs et de leurs interactions, considérés simultanément (analyse globale) et dans la durée (analyse longitudinale). Ces contraintes excluent, dans un premier temps, le recours aux expériences en milieu contrôlé et imposent de travailler en situation réelle, c'est-à-dire directement dans les élevages concernés par les problèmes de pathologie multifactorielle.

Le rétablissement d'une situation sanitaire et économiquement acceptable pour l'éleveur et le consommateur repose sur la mise en place d'un plan de lutte et de prévention intégré, faisant appel à des modifications des pratiques d'élevage (logement, alimentation, etc.) plus qu'à des schémas de prophylaxie médicale (vaccination, vermifugation...). L'ensemble de ces particularités a entraîné la naissance d'une branche de l'épidémiologie, dénommée écopathologie, où le préfixe *éco* dénote autant l'aspect écologique (analyse d'un système complexe) qu'économique (impact de la pathologie et nécessité de rétablir une situation plus favorable à l'éleveur).

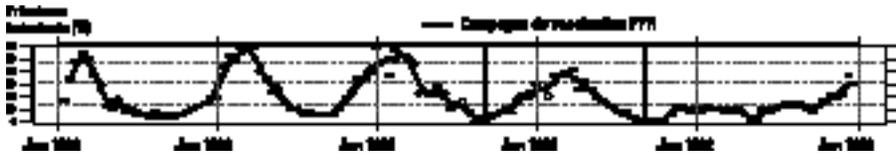
Exemples

Dans les élevages intensifs des pays industrialisés, sont bien connues certaines formes de mammite des vaches laitières, de boiterie des taurillons dans les ateliers d'embouche, de pneumopathie enzootique des porcs charcutiers, etc.

Malgré des conditions d'élevage beaucoup moins intensives, les pathologies multifactorielles sont également présentes dans les systèmes tropicaux. On peut citer les pneumopathies enzootiques des petits ruminants, trop souvent et improprement appelées pasteurellose. Si des isollements de *Pasteurella* spp (notamment *P. haemolytica*) sont toujours positifs sur les lésions pulmonaires observées à l'autopsie, la maladie n'est pas reproduite expérimentalement par injection ou inhalation de colonies pures de *Pasteurella*. De plus les vaccinations effectuées avec divers sérotypes de *P. haemolytica*, souvent combinés, sont remarquablement inefficaces. D'autres exemples où une étiologie multifactorielle a été démontrée ou suspectée sont la diarrhée du chamelon au Maroc, les avortements des chèvres dans le Nordeste brésilien ou la mortalité des chevreaux au Zimbabwe.

● Evolution actuelle et perspectives

Il faut moduler la distinction entre maladies majeures et pathologies multifactorielles. Plusieurs études ont par exemple montré que le virus de la peste des petits ruminants (PPR) était un élément important du complexe de pneumopathie enzootique des petits ruminants en Afrique, y compris chez les ovins, réputés moins sensibles que les caprins, et en l'absence de toute forme clinique caractéristique de PPR.



► Figure 3 : Evolution de la prévalence instantanée du jetage nasal dans une population d'ovins djallonké (Kolda, Sénégal) suite à la mise en place d'une campagne de vaccination contre la PPR (source : R. Lancelot, ISRA-LNERV / CIRAD-EMVT, Dakar, Sénégal, 2000)

L'absence de vaccins efficaces et les particularités épidémiologiques de certaines grandes affections (tuberculose et péripneumonie contagieuse bovine par exemple) conduisent par ailleurs à employer des méthodes d'étude (enquêtes prospectives multivariées, modélisation mathématique) et de lutte (plans intégrés) développées pour la pathologie multifactorielle. Il en va de même avec les maladies émergentes et ré-émergentes, telles que les arboviroses (fièvre de la Vallée du Rift, peste porcine africaine, maladie de Nairobi, maladie de Wesselsbron...), qui prennent de l'ampleur dans un contexte de modifications climatiques globales et de grands aménagements hydro-agricoles (périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal, du Nil, etc.).

Enfin les systèmes d'élevages ruraux et péri-urbains des pays tropicaux connaissent tous de profondes et rapides modifications, du fait de la demande croissante en protéines animales et de la réduction des espaces pastoraux. Des systèmes intensifs (aviculture, élevage laitier péri-urbain) se mettent en place et des pathologies jusqu'alors méconnues se développent, dont beaucoup présentent les caractéristiques de pathologies multifactorielles.

Dans ces contextes *a priori* bien différents, l'approche écopathologique est donc susceptible de fournir des réponses originales là où les méthodes classiques n'ont pas permis d'obtenir des résultats suffisants.

LA SANTÉ ANIMALE ET LA SANTÉ PUBLIQUE

Les maladies animales peuvent avoir un impact direct ou indirect sur la santé humaine. Dans la majorité des cas, la finalité même de la lutte contre une maladie animale est la protection de la santé publique.

Cet impact peut être direct lorsque l'animal souffre d'une maladie transmissible à l'homme, soit par contact direct, soit par l'intermédiaire des produits animaux (lait, viande). On parle alors communément de zoonose. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que le nombre de zoonoses et de maladies transmises par les aliments d'origine animale est d'environ cent cinquante. De nouvelles zoonoses sont régulièrement identifiées et l'on note que 80 % des maladies infectieuses et parasitaires sont communes à l'homme et à l'animal. L'importance d'une zoonose se mesure en fonction de la gravité des symptômes chez l'homme et de la prévalence de la maladie chez l'animal.

Indirectement, même en l'absence de pouvoir infectieux pour l'homme, les maladies animales ont un impact potentiel sur la santé humaine par les résidus de médicaments qui peuvent se trouver dans les produits d'origine animale et par la menace que font peser les grandes épizooties sur la sécurité alimentaire de l'homme.

Par extension, entrent également dans le domaine de la santé publique vétérinaire toutes les activités de contrôle de la qualité des aliments d'origine animale : analyse microbiologique, absence de contaminants (toxines, produits chimiques) ou conservation.

● **Les modes de transmission à l'homme**

● **Par l'environnement**

Des infections parasitaires peuvent être contractées par ingestion d'œufs de parasites présents sur le sol (aliments souillés) dans le cas de l'échinococcose alvéolaire (ver parasite du chien, larve pouvant s'enkyster dans le foie de l'homme) ou par des baies sauvages dans le cas de l'échinococcose multiloculaire (ver parasite du renard, larve entraînant une atteinte hépatique grave de l'homme).

● **Par contact**

Plusieurs maladies peuvent être transmises de l'animal à l'homme par simple contact :

- > brucellose par contact de la peau avec des produits d'avortement (écoulements utérins) ;
- > yersiniose (maladie du lapin) par contact avec un animal atteint ;
- > tuberculose par voie respiratoire en cas de contact étroit avec les animaux (étable) ;
- > fièvre de la Vallée du Rift par contact avec des produits d'avortement ou abattage d'animaux malades ;
- > charbon bactérien par contact de la peau avec du sang, de la viande ou du cuir d'animaux morts.

● **Par vecteurs**

Un grand nombre de maladies des animaux sont transmises par des vecteurs tels que des moustiques (arboviroses), des tiques ou des mouches (glossines). Un certain nombre de ces vecteurs peuvent également transmettre la même maladie à l'homme. C'est le cas des moustiques pour la transmission de :

- > la fièvre de la Vallée du Rift, pouvant se manifester chez l'homme sous la forme d'une fièvre hémorragique ;
- > d'encéphalites équine (de l'Est, de l'Ouest, vénézuélienne, japonaise...), provoquant souvent des formes d'encéphalite graves chez l'homme.

La prévention de ce mode de transmission peut être basée sur la surveillance de la maladie chez l'animal et la lutte contre les vecteurs.

● **Par morsure**

La rage est une maladie animale transmise le plus souvent par morsure (chiens, chacals, renards) ou par contact avec la salive de l'animal enragé (vaches, petits ruminants). La rage est entretenue dans les villes par les chiens et chats errants et dans la nature par les renards, les chacals et les chiroptères.

La maladie est toujours mortelle dès que les symptômes sont déclarés. La prévention chez l'homme se fait par vaccination. En cas de morsure, il faut laver la plaie et vacciner d'urgence. La meilleure action préventive reste la vaccination des chiens errants.

● Par consommation de produits d'animaux

● Le lait

Le lait est susceptible de transmettre essentiellement des maladies bactériennes telles que la brucellose (*Brucella abortus*, *B. melitensis*), la tuberculose (*Mycobacterium bovis*), la listériose (*Listeria monocytogenes*), la salmonellose (*Salmonella typhimurium*, *S. dublin*), la fièvre Q (*Coxiella burnetti*).

Le meilleur moyen de prévention est l'ébullition avant consommation ou la pasteurisation (chauffage à 71,5°C pendant quinze secondes par exemple) qui assure la destruction de tous les agents pathogènes pouvant être contenus dans le lait.

● La viande

La viande peut transmettre des parasitoses :

- > toxoplasmose (*Toxoplasma gondii*) : contamination par la viande de porc ou de petits ruminants qui renferment des kystes du parasite. La maladie de l'homme est souvent non clinique sauf pour la femme enceinte (infection du fœtus) et les personnes immunodéprimées ;
- > trichinellose (*Trichinella spiralis*) : contamination par de la viande de porc, sanglier, phacochère ou cheval contenant des kystes de la forme larvaire du parasite. Cette maladie peut être grave chez l'homme : symptômes digestifs et musculaires ;
- > taeniasis et cysticercose par ingestion des formes larvaires de parasites par la viande de porc ou de bœuf. Maladie chez l'homme provoquée par le ver adulte dans l'intestin (ver solitaire).

Le mode de prévention privilégié de ces parasitoses est la consommation de viande bien cuite ou congelée pendant un temps suffisant pour certains parasites (- 15°C pendant vingt jours pour les trichines par exemple).

La viande peut également transmettre des maladies bactériennes :

- > charbon bactérien ou anthrax (*Bacillus anthracis*) : contamination par l'ingestion de viande d'un animal en phase clinique de la maladie. La maladie est mortelle chez l'homme comme chez l'animal en l'absence de traitement (pénicillines). La prévention passe par une bonne inspection vétérinaire des animaux abattus ;
- > salmonellose, colibacillose (*Escherichia coli*) et campylobactérioses (*Campylobacter jejuni*) provoquent des symptômes intestinaux parfois sévères chez l'homme. Les animaux ne sont pas forcément malades mais souvent porteurs de ces bactéries qui contaminent alors les produits alimentaires. La prévention est basée sur le respect de l'hygiène de l'abattage, de l'hygiène alimentaire et la cuisson des aliments.

● Les oeufs

Dans les élevages infectés, les œufs peuvent contenir des salmonelles et infecter l'homme en cas de cuisson insuffisante.

● **Les conséquences pour l'homme**

● **Résidus médicamenteux**

Le non-respect des délais d'attente des médicaments (période pendant laquelle les produits des animaux traités ne doivent pas être consommés) peut avoir plusieurs types d'impact sur le consommateur :

- > allergies, chocs anaphylactiques : pénicillines, iode ;
- > intoxications : antiparasitaires organochlorés tels que le lindane ;
- > développement de flores microbiennes résistantes aux antibiotiques par ingestion régulière de faibles quantités d'antibiotiques.

Le respect du délai d'attente (toujours mentionné sur les médicaments), des voies d'administration et des doses ainsi que l'utilisation uniquement de médicaments agréés par les autorités nationales compétentes permet d'éviter ces conséquences.

● **L'incidence des maladies animales sur la sécurité alimentaire**

Les maladies épizootiques majeures, en décimant les cheptels, peuvent réduire la disponibilité en protéines animales pour l'homme. C'est le cas de la peste bovine, de la maladie de Newcastle chez les volailles ou des pestes porcines.

● **Les moyens de lutte**

La lutte contre les maladies animales ou les agents pathogènes transmissibles à l'homme s'effectue à plusieurs niveaux :

- > le contrôle ou l'éradication de la maladie dans le troupeau par des opérations de prophylaxie : vaccinations contre le charbon bactérien ou la brucellose dans les zones fortement infectées, éradication de la tuberculose par dépistage des animaux infectés et abattage, mesures d'hygiène de l'alimentation des animaux (parasites, contaminants) ;
- > la prévention au stade de la préparation ou de la transformation des produits alimentaires. Ceci implique l'inspection sanitaire des animaux à l'abattage pour écarter tous les animaux ou organes atteints de maladie et contrôler l'absence de contaminants. Vient ensuite le respect des mesures d'hygiène dans la transformation des aliments d'origine animale : propreté, conservation, emballage ;
- > l'action au niveau du consommateur par respect des règles d'hygiène de base (propreté) et l'application de traitements thermiques appropriés (cuisson des viandes et des œufs, pasteurisation du lait).

L'HYGIÈNE ET LA PROPHYLAXIE

● L'hygiène

● Les bâtiments et les véhicules

● La désinfection par des liquides

Trois formules

A. Soude caustique (paillettes : 100 g) + alkylate de sodium pur (Teepol : 10 g ou 10 ml) + chaux éteinte industrielle module 20 (2 kg) + eau (10 l) ;

B. Même formule que A sans chaux ;

C. Même formule que A sans soude.

La désinfection se pratique annuellement (indispensable) et après une maladie contagieuse. Deux interventions successives à quinze jours d'intervalle sont nécessaires : vidage des locaux, nettoyage et décapage avec la formule B lors de la première intervention et A lors de la seconde. Ensuite, rinçage à grande eau et application de la formule C avec ou sans insecticide.

Toutes ces pulvérisations se font sous forte pression (20 à 30 kg/cm²). Le corps de la pompe doit être en métal inoxydable et abondamment rincé immédiatement après l'utilisation. Si le sol est très bosselé, on répand de la sciure pour retenir le liquide pulvérisé.

● La désinfection par des gaz

Aldéhyde formique

Il n'attaque pas les métaux. Par mètre cube de local, on verse 30 ml de formol du commerce additionné de 30 ml d'eau sur 20 g de permanganate de potassium en paillettes. On met le permanganate en premier et on sort dès l'addition du formol dilué dans son volume d'eau. On laisse agir 24 heures puis on aère. Il faut prévoir un baquet de volume cinq fois plus grand que le volume de liquide prévu (mélange moussant).

Vapeur de crésyl (5 g/m³)

On évapore 5 g de crésyl par m³ dans des chaudrons étamés à parois très hautes pour protéger le crésyl afin qu'il ne s'enflamme pas. On utilise du charbon de bois pour le chauffage. La vapeur de crésyl est très antiseptique et également insecticide. On fait durer l'action le temps du chauffage. Cette méthode a un grand intérêt à cause de son innocuité.

● La désinfection par le feu

On la recommande lorsque qu'elle est possible, notamment pour la destruction des litières, vieux clapiers, perchoirs, etc. Les matériaux non combustibles et les recoins de murs peuvent être flambés à la lampe à souder (destruction des parasites).

● Les instruments

Une excellente stérilisation des petits instruments, des seringues et des aiguilles peut être effectuée dans une «cocotte-minute» de ménage ou dans un four pasteur.

● Les plaies (antisepsie)

Les antiseptiques ne doivent pas être irritants. Les plus courants sont les suivants :

- > acide borique : solution à 1 ou 2 % ;
- > alcool à 60° ;
- > ammonium quaternaire : solution à 0,5 % à froid ;
- > bleu de méthylène : solution à 1 % ;
- > eau oxygénée à 10 volumes à froid ;
- > eau de Javel : solution à 1 ou 3 % (à partir de la solution commerciale déjà diluée).

● Les cuirs et peaux provenant d'animaux malades

Il y a lieu de faire une place à part aux peaux provenant d'animaux atteints de charbon :

- > peaux provenant d'animaux vivant dans un élevage ou un troupeau où sévit le charbon : désinfection ;
- > peaux provenant d'animaux reconnus atteints du charbon : destruction, par enfouissement avec de la chaux, ou mieux par incinération.

● Les techniques de destruction des cadavres

● *Les grands animaux*

En cas de maladie contagieuse, il faut :

- > éviter tout écoulement de liquides organiques. Pour cela, on bouche les orifices naturels avec du coton imbibé de sublimé à 1/1000 ;
- > préparer une fosse de 2 m de profondeur située à plus de 400 m de toute habitation ;
- > placer de la chaux vive au fond et, après avoir entaillé la peau avec un fer rouge, basculer l'animal dessus ;
- > recouvrir l'animal d'une épaisse couche de chaux vive ;
- > verser de l'eau et n'enterrer le cadavre qu'après 24 heures. En un mois, il ne reste que le squelette ;
- > désinfecter avec soin tout ce qui a servi au transport.

● *Les petits animaux*

L'incinération est le meilleur moyen de s'en débarrasser à condition d'être loin des habitations : arroser d'essence ou de gasoil et laisser brûler.

● La prophylaxie

Par définition, une maladie transmissible va passer plus ou moins rapidement d'un troupeau à un autre et seule une action concertée et collective peut permettre de contrôler ou éliminer cette maladie. Cette lutte collective peut être facultative ou obligatoire.

Plusieurs stratégies sont disponibles et leur mise en place dépend notamment des caractéristiques épidémiologiques de la maladie.

● La prophylaxie sanitaire

Elle comprend les actions qui visent à l'élimination de l'agent pathogène et à la protection des individus sains. Les trois étapes principales de cette prophylaxie sont :

- > le dépistage des élevages infectés ;
- > l'assainissement ;
- > la protection.

Cette stratégie comprend des mesures offensives qui consistent en la détection des animaux ou des troupeaux porteurs de l'infection (sérologie, tests allergiques, détection clinique) et en leur élimination partielle ou totale par abattage (avec généralement une indemnisation). Les mesures défensives consistent à éviter l'introduction de l'agent pathogène dans les élevages (contrôle des introductions, quarantaines).

Pour des raisons de coût et d'acceptabilité, les mesures offensives ne sont appliquées que lorsque la prévalence de la maladie est faible.

● La prophylaxie médicale

Elle comprend les actions de traitement, de chimioprévention et d'immunisation.

Les traitements sont peu utilisés pour la lutte contre les maladies animales contagieuses, voire interdits (traitements contre la tuberculose ou la PPCB). La chimioprévention est parfois utilisée dans le cas de maladies pour lesquelles il n'existe pas de vaccin (chimioprévention des bœufs de labours par produits trypanocides à longue action dans les zones à glossines).

La vaccination demeure la méthode de prophylaxie médicale la plus commune. Son principe repose sur la loi de Charles Nicolle qui veut qu'une maladie contagieuse ne peut plus se propager dans une population animale dont 75 % des individus sont protégés. Elle a donc pour but de stopper les manifestations épizootiques d'une maladie. Pour cela, il est nécessaire de connaître l'efficacité du vaccin utilisé, la durée de l'immunité conférée et la possibilité pratique de sa réalisation (coût, logistique). La lutte vaccinale est généralement préférée pour les maladies à forte prévalence.

● La prophylaxie médico-sanitaire

Il est rare que des mesures médicales ne soient pas associées à des mesures sanitaires (vaccination de masse associée à un abattage des troupeaux faisant l'objet de flambées épizootiques de la maladie).

La prophylaxie médico-sanitaire peut également être appliquée lorsqu'il est possible de faire une différence entre les animaux vaccinés et les animaux infectés (par l'utilisation de vaccins marqués), ce qui permet de détecter les animaux naturellement infectés tout en réduisant les risques de diffusion de la maladie.

● **Le choix d'une méthode**

Une prévalence élevée et une maladie hautement contagieuse conduisent à lutter contre une maladie par la vaccination. À l'inverse, une faible prévalence et une faible contagiosité conduisent à privilégier les mesures sanitaires.

Souvent, ces différentes stratégies s'enchaînent logiquement entre elles : la vaccination permet de réduire la circulation de l'infection dans une population fortement atteinte, jusqu'à un niveau permettant l'arrêt de la vaccination et la poursuite de la lutte par détection et élimination des foyers résiduels. C'est la procédure qui a été suivie pour la lutte contre la brucellose bovine en France.

La vaccination peut parfois à elle seule conduire à l'éradication de la maladie, comme cela a été le cas dans la majorité des pays d'Afrique de l'Ouest pour la peste bovine.

● **La gestion de l'éradication**

Après l'éradication, la stratégie de lutte repose sur les activités suivantes :

- > vérification de la situation sanitaire du pays ;
- > reconnaissance officielle du statut du pays ;
- > protection du territoire contre la réintroduction de la maladie ;
- > préparation à l'intervention d'urgence.

● **La vérification de la situation sanitaire**

Elle se fait par la mise en place d'un réseau d'épidémiosurveillance efficace capable de détecter toute manifestation clinique de la maladie (exemple de la fièvre aphteuse en Europe : arrêt de la vaccination en 1991, mise en place d'un système national de surveillance épidémiologique). Des enquêtes transversales sur des échantillons représentatifs de troupeaux du pays permettent de déterminer objectivement l'absence de circulation de l'agent pathogène (enquêtes cliniques ou enquêtes sérologiques).

● **La reconnaissance officielle du statut**

Les organisations internationales (OIE) adoptent des normes fixant pour les pays les procédures à suivre pour être reconnus indemnes de certaines maladies. Une telle procédure existe par exemple pour la peste bovine et peut être accomplie en six ans :

- > arrêt et interdiction de la vaccination, déclaration de pays provisoirement indemne ;
- > enquêtes cliniques transversales sur des échantillons représentatifs de troupeaux pendant trois ans pour obtenir le statut de pays indemne de maladie ;
- > enquêtes sérologiques transversales sur des échantillons représentatifs de troupeaux pendant trois ans pour obtenir le statut de pays indemne d'infection.

● **La protection du territoire**

Elle passe par le contrôle des frontières et la maîtrise des mouvements commerciaux et de transhumance.

● **La préparation à l'intervention d'urgence**

Elle doit permettre une réaction rapide en cas de réapparition d'un foyer qui aura pu être détecté de manière précoce par le réseau d'épidémiologie. Elle nécessite la formalisation d'un plan d'intervention d'urgence concerté entre tous les acteurs potentiels (éleveurs, services vétérinaires, police, armée). Cela a été le cas pour la réapparition de la fièvre aphteuse en Europe.

L'ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ANIMALE

L'économie de la santé traite de l'impact économique des maladies, de l'évaluation économique des programmes de lutte contre les maladies et du fonctionnement économique du système de santé.

● **Quelques définitions préalables**

Programme de santé

Un programme d'intervention dans le domaine de la santé animale peut être défini comme la combinaison d'actions de santé (dépistage, traitements, élimination ou abattage, vaccinations, promotion et éducation, incitations financières) mises en œuvre pour accomplir un objectif de santé animale particulier.

Coûts, bénéfices (ou avantages) d'un projet

Il s'agit des ressources respectivement consommées, créées (ou épargnées) par la mise en place du programme. On considère qu'un programme sanitaire a un coût car il utilise des ressources qui ne sont plus disponibles pour d'autres actions sanitaires (lutter contre une autre maladie) ou non sanitaires. De même, les ressources épargnées ou créées peuvent être des ressources reconstituées qui n'existeraient pas sans le programme (mortalités animales évitées, donc réduction de l'impact de la maladie), ou des ressources complètement nouvelles dues au programme (création d'une filière laitière suite à l'éradication d'une maladie).

Système de santé

C'est l'association de prestataires fournisseurs de services sanitaires, de clients (éleveurs) et d'acteurs institutionnels régulant le système (en assurant partiellement son financement et en définissant les règles). Ces trois éléments du système sont reliés par des flux financiers, des flux physiques et des flux d'information.

● **L'économie du système de santé**

Il s'agit d'aborder un problème de santé du point de vue de l'organisation de l'offre, des caractéristiques de la clientèle (besoins ou demande) et des moyens mis en œuvre pour produire des services de santé et réguler ce système du point de vue institutionnel. Mettre en place un système de santé est donc toujours un choix de société. Piloter un système de santé demande de connaître ses caractéristiques et de s'assurer qu'un certain nombre de données et de méthodes d'analyse sont disponibles et mises en place pour de meilleures décisions.

● La planification de la santé animale

Planifier la santé signifie déterminer les objectifs du système de santé, depuis des objectifs stratégiques comme *la santé pour tous* jusqu'aux considérations tactiques du type *moins de 1 % de prévalence annuelle de la brucellose en milieu laitier*. Il peut d'abord s'agir de déterminer des besoins de santé d'une population et d'établir des priorités sanitaires (à l'aide d'outils, de critères et d'instruments de mesure variés, tels la mesure épidémiologique de la fréquence d'une maladie ou celle de l'impact économique comparé). Il est nécessaire ensuite d'y faire correspondre l'organisation des soins. Ainsi la détermination des besoins de santé et de services et la mise en œuvre de moyens pour la poursuite de ces objectifs peuvent mener par exemple à privilégier une certaine forme d'organisation du système de santé.

Les caractéristiques d'offre et de demande en santé animale sont directement influencées par des facteurs externes (écologie des maladies) ou intrinsèques au système de santé tels que le système de financement, les facteurs démographiques, les facteurs culturels, l'organisation de l'offre et son effet sur la demande. Il est donc important de connaître ces données, d'isoler des facteurs sur lesquels on peut agir pour mieux piloter le système de santé et influencer sur l'offre ou la demande dans le sens attendu.

La santé ne peut pas être régulée seulement par un système de marché. Il existe en effet de nombreuses barrières au marché dans ce domaine (externalités, problème d'information). Au sein des systèmes de santé, il est courant que l'Etat ait un rôle prédominant, soit dans la fourniture de services, soit par son action régulatrice. La privatisation des services aux éleveurs a constitué une avancée remarquable pour garantir la pérennité de l'accès aux soins. Grâce aux informations disponibles, l'Etat peut alors se concentrer sur son rôle majeur de régulateur et tenter de corriger certaines failles du système en place, en particulier par la mise en place de politiques sanitaires appropriées et d'incitations. L'Etat peut ainsi vouloir influencer sur le système de santé par des actions de correction ou d'incitation. La mesure des dépenses peut donc être nécessaire, soit pour rationner le système de santé (vision trop souvent utilisée), soit au contraire pour favoriser certains acteurs et tenter d'investir au bon endroit du côté de la demande, afin d'aboutir à une meilleure performance des productions animales.

Il peut donc s'agir de trouver et de valider l'impact de nouvelles formes institutionnelles d'organisation du système de santé et de financement. Dans certains cas, c'est la profession agricole elle-même au sein d'un secteur particulier de production (filière laitière par exemple) qui doit être capable d'agir en intégrant la santé animale dans ses priorités, comme une composante de sa compétitivité. On voit de plus en plus se développer des actions sanitaires exécutées par les professionnels sur leur cheptel, pour garantir une image de marque sanitaire qui les différencient des concurrents. C'est le cas au sein des groupements de défense sanitaire (GDS) ou des coopératives de production orientées vers le marché.

L'Etat peut à ce titre favoriser l'encadrement de ces associations plutôt que tenter de se substituer à elles. Il peut ainsi mettre en place des procédures incitatives, favoriser la dissémination de l'information sanitaire, aider à négocier des conventions particulières (attribuer le mandat sanitaire, négocier des tarifs de prophylaxies entre les vétérinaires privés et les organisations de producteurs ou les GDS).

Il peut aussi s'agir de mettre en place des audits médicaux pour contrôler la bonne qualité des soins délivrés et des pratiques (éviter l'abus d'antibiotiques et l'apparition de résistances), ou allouer des fonds à la recherche vétérinaire sur un domaine particulier (recherche vaccinale), guider la répartition des centres de santé et des praticiens en établissant des règles d'allocation géographique, allouer des fonds à la mise en place et au fonctionnement de laboratoires de diagnostic locaux ou régionaux (assurer le contrôle de la localisation de la technologie médicale et des services de référence).

● **Les méthodes et les outils de l'évaluation médico-économique**

Il est souvent nécessaire de pratiquer une hiérarchisation des problèmes de santé animale. Nous présentons quelques méthodes telles que les études coût-avantage.

● **L'évaluation économique des programmes sanitaires**

L'évaluation économique d'un programme sanitaire vise à comparer ses options. Parmi ces options, il en est une particulière qui est en théorie de *ne rien faire* ; les options actives doivent en général être comparées en rapport à cette situation de référence. Cette comparaison s'effectue sur les indicateurs de ressources consommées (les coûts) et de ressources épargnées ou créées (bénéfices ou avantages d'un programme). On est toujours conduit à établir une évaluation du point de vue d'un ou de plusieurs agents économiques particuliers (qui commande l'étude, qui finance ou à la place de qui se positionne-t-on, depuis les éleveurs jusqu'à l'Etat ou le donateur qui finance le programme de lutte ?)

D'autre part, une évaluation peut être conduite à différents moments (quand doit-on mesurer les effets d'un programme, et quand ces effets surviennent-ils ?) ; les techniques comptables peuvent être appliquées pendant la durée attendue du programme mais aussi à une période où les effets sont raisonnablement prédictibles.

● **Les méthodes d'évaluation économique globale en santé animale**

Nous présenterons l'analyse coût-efficacité (ACE) et l'analyse coût-bénéfice (ACB) qui sont les plus utilisées et qui comparent plusieurs stratégies possibles sur les coûts et bénéfices.

La mesure réaliste des indicateurs de coûts et de bénéfices (ou conséquences) des options du programme guide la mise en œuvre des méthodes adéquates. En effet, la plupart des maladies et des programmes de santé ont des conséquences multiples sur la productivité et l'activité économique. On peut essayer de comparer sur plusieurs indicateurs ou réduire la comparaison à un seul critère. Une option est d'essayer de grouper tous les effets sous une mesure commune, le plus souvent en unités monétaires. C'est le cas dans l'analyse ACB.

Tableau 1. Comparaison des méthodes *analyse coût-efficacité ACE* et *analyse coût-bénéfice ACB*

	Comment mesurer les coûts des options du programme	Comment mesurer les bénéfiques des options du programme	Comment comparer des effet du programme à prendre en compte ?
Analyse coût-efficacité ACE	Tous les flux de coûts sont exprimés en <i>unités monétaires constantes</i> et sont <i>actualisés</i> au temps de référence. La somme de ces valeurs actualisées fait état des coûts. Les <i>prix des intrants</i> nécessaires à l'action sanitaire doivent représenter le mieux possible les <i>coûts d'opportunité</i> de ces intrants du point de vue des agents économiques qui mettent en œuvre le programme. Si les <i>prix de marché</i> constatés ne reflètent pas les coûts d'opportunité réels, on peut ainsi effectuer les calculs à partir de prix artificiels dits <i>prix de référence</i> . C'est en particulier le cas si le programme est fortement importateur d'intrants payables en devises et si le facteur travail est artificiellement trop bien rémunéré dans un projet. Ces deux facteurs doivent alors être corrigés.	Tous les bénéfices sont exprimés pour un seul critère en <i>unités physiques naturelles</i> établies dans la <i>nomenclature</i> (jours de travail gagnés ou mortalité évitée ou quantité de lait gagnée).	L'effet est exprimé sur <i>un critère</i> le plus souvent unique (une mesure par option), l'effet est <i>réalisé à des degrés divers</i> selon les options de lutte. L'effet est pris en compte quand il est <i>commun aux diverses options</i> et exprimé en <i>unité commune</i> pour la rendre comparable (par exemple réduction de la mortalité).
Analyse coût-bénéfice ACB	Unité monétaire. Les conditions énumérées pour l'ACE s'appliquent	Unité monétaire. Les conditions énumérées pour l'ACE s'appliquent, mais on prend en compte tous les effets mesurables et on les transforme.	<i>Plusieurs effets</i> sont possibles et donc <i>plusieurs critères</i> sont utilisés, mais ils ne sont <i>pas forcément communs</i> aux diverses options et sont donc comparés seulement quand ils ont été <i>agrégés en valeur</i> dans une mesure unique.

Tableau des analyses globales comparant à la fois les *inputs* et *outputs* d'un programme et plusieurs options d'un même programme.

● **L'analyse coût-avantage de type ACB réalisée ex ante**

- > établir de quel point de vue on mène l'analyse et le champ du programme sanitaire ;
- > établir la liste des ressources consommées (coûts) et des ressources créées ou épargnées (effets) par la maladie et par les options du programme (et par les différentes actions au sein des options du programme : par exemple, les actions de dépistage, vaccinations, traitements, élimination des animaux par abattage, remplacement des animaux, éducation sanitaire), l'option *ne rien faire* ou option naturelle (en l'absence de programme) étant incluse dans cet exercice. Faire un choix des indicateurs qui seront retenus pour l'étude ;
- > évaluer les effets créés et les ressources utilisées par la mise en place du programme, donc selon les options du programme. Il s'agit de quantifier grâce à des indicateurs choisis et mesurés en unités physiques les effets et ressources consommées attribuables à une option du programme (calculer le détail des coûts et bénéfices en termes physiques) ;

- > dans le même temps, établir à quel moment par rapport au début de la mise en route du programme ces ressources seront consommées ou créées ;
- > établir le temps de référence de l'évaluation (le moment auquel on mesurera, qui n'est pas forcément le début du programme) et la durée choisie pour l'analyse des flux (qui peut aller au delà de l'exécution du programme), qui dépend des indicateurs retenus et du type de projet ;
- > calculer le détail des coûts et bénéfices sur la même base mais en termes monétaires. Utiliser des valeurs de référence qui respectent l'inflation (évolution des prix) et la valeur des ressources ;
- > actualiser les flux de coûts et bénéfices ;
- > comparer les indicateurs liés aux coûts et bénéfices entre les options sur la base du critère de prise de décision préétabli ;
- > procéder à une analyse de sensibilité des calculs et inclure cette analyse lors de la présentation des résultats ;
- > présenter et transférer les résultats de l'étude et fournir les explications techniques sur les limites de l'étude, mais aussi sur ses forces, de manière à mieux répondre à la demande des décideurs. Éventuellement, face à un manque de consensus évident, reprendre l'étude à partir des données disponibles mais en incluant une nomenclature et des techniques de calcul qui soient mieux reconnues ou acceptées.

Bibliographie

- BERESNIAK et DURU. *Économie de la santé*. Masson Éditeurs.
- DRUMMOND et al. *Méthodes d'évaluation économique des programmes de santé*. Economica Éditions.
- FAYE B., LEFÈVRE P.C., LANCELOT R., QUIRIN, R., 1994. *Écopathologie animale. Méthodologie, applications en milieu tropical*. Paris, INRA / CIRAD-EMVT, 119 p.
- GANIÈRE J.P., ANDRÉ-FONTAINE G., DROUIN P., FAYE B., MADEC F., ROSNER G., FOURICHON C., WANG B., TILLON J.P., 1991. *L'écopathologie : une méthode d'approche de la santé en élevage*. INRA Prod. Anim., 4 (3) : pp. 247-256.
- LANDAIS É., 1991. *Écopathologie et systémique*. Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement, 21 : pp. 5-11.
- LEFÈVRE P.C., BLANCOU J., VILENBERG G., 2002. *Les maladies infectieuses et parasitaires du bétail des régions tropicales* (à paraître).
- LE JAN C., SOW A.D., THIEMOKO C., FRANÇOIS J.L., DIOUARA A., 1987. *Pneumopathies enzootiques des petits ruminants en Mauritanie: situation d'ensemble et approche expérimentale*. Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop., 40 (2) : pp. 103-112.
- LESNOFF M., LANCELOT R., TILLARD E., DOHOO I.R., 2000. *A steady-state approach of benefit-cost analysis with a periodic Leslie-matrix model: presentation and application to the evaluation of a sheep-diseases preventive scheme in Kolda, Senegal*. Prev. Vet. Med., sous presse.
- MONICAT F., BORNE P.M., MARON P., 1992. *Système d'élevage et économie de la production caprine dans les zones traditionnelles du Zimbabwe. I. Les bâtiments d'élevage*. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop., 45 (1), pp. 69-80.
- PUTT S.N.H., SHAW A. *Épidémiologie et économie vétérinaire en Afrique. Manuel à l'usage des planificateurs de la santé animale*. CIPEA VEERU.
- Quirin R., LEAL T.M., FAYE B., 1994. *Analyse et prévention des troubles du cycle reproductif chez les caprins en région semi-aride dans le Nordeste brésilien*. Vet. Res., 25 : pp. 348-356.

7 ZOOTECHNIE SPÉCIALE

7.1 L'élevage des herbivores

**7.2 L'élevage des monogastriques
non herbivores**

**7.3 La pisciculture et les élevages
non conventionnels**

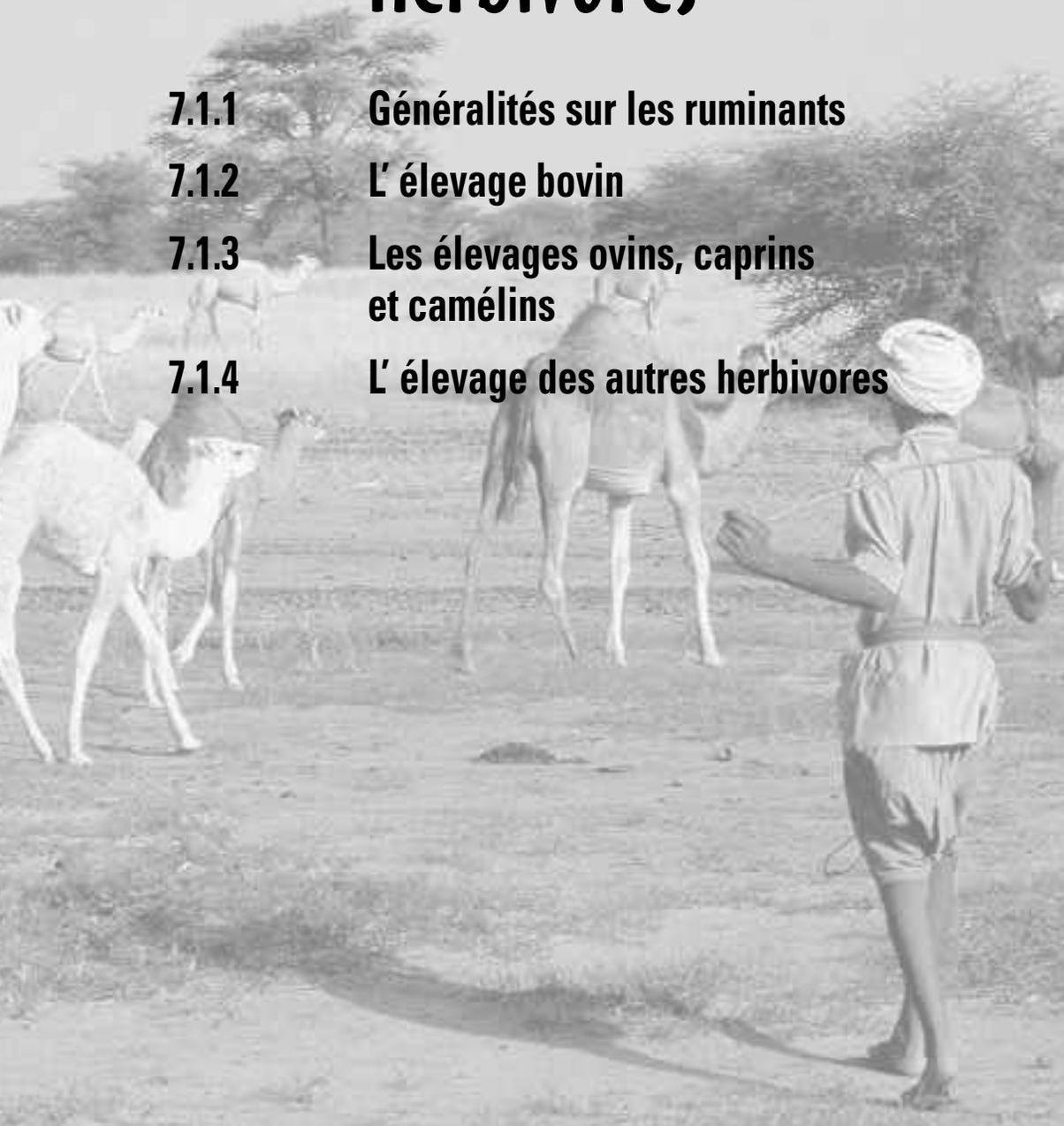




7 1

L'élevage des herbivores

- 7.1.1 Généralités sur les ruminants**
- 7.1.2 L'élevage bovin**
- 7.1.3 Les élevages ovins, caprins et camélins**
- 7.1.4 L'élevage des autres herbivores**



Généralités sur les ruminants

À partir des contributions de H. Guérin (CIRAD),
P. Lecomte (CIRAD), P. Lhoste (CIRAD) et C. Meyer (CIRAD)

LES PERFORMANCES GÉNÉTIQUES

● Quelques définitions

Animal domestique : étymologiquement il fait partie d'une « maison » (*domus*) et vit sous la domination d'un maître qu'il sert. Il se reproduit en captivité. La domestication s'accompagne d'une transformation progressive des espèces sauvages dans un sens utile à l'homme. Un animal domestique serait celui qui, « élevé de génération en génération sous la surveillance de l'homme, a évolué de façon à constituer une espèce, ou pour le moins une race, différente de la forme sauvage primitive dont il est issu »¹. La domestication est le plus souvent très ancienne. Les dates et les lieux de domestication sont incertains, mais on peut retenir les estimations présentées dans le tableau 1 :

Tableau 1. Date et lieu connu de première domestication des animaux d'élevage
(d'après Gautier, 1990 ; *Encyclopaedia universalis*, 1995).

Espèce	Date	Lieu (continent)
Chien	< 14 000 av. J.-C.	(Eurasie)
Mouton	9 000 av. J.-C.	Irak (Asie)
Chèvre	7 000 av. J.-C.	Perse (Asie)
Porc	7 000 ou 5 000 av. J.-C.	Anatolie (Asie) ou Chine (Asie)
Vache	6 500 ou 6 300 av. J.-C.	Thessalie et Anatolie (Europe)
Zébu	6 000 av. J.-C. ou 4 000 av. J.-C.	Baloutchistan (Asie) ou Vallée de l'Indus (Asie)
Lama	5 500 ou 5 000 av. J.-C.	Andes (Amérique)
Alpaga	4 000 av. J.-C.	Andes (Amérique)
Ane	3 500 av. J.-C.	Egypte (Afrique)
Cheval	3 500 ou 3 000 av. J.-C.	Ukraine (Asie)
Dromadaire	3 000 av. J.-C.	Arabie (Asie)
Chameau	3 000 ou 2 600 av. J.-C.	Iran, Turkménistan (Asie)
Buffle	2 500 av. J.-C.	Indus (Asie)
Yack	2 500 av. J.-C.	Tibet (Asie)

¹ R. THÉVENIN, 1960 in *Encyclopaedia Universalis*, 1995.

Espèce : elle est caractérisée par la possibilité pour les individus qui en font partie de se reproduire entre eux et par l'impossibilité ou la grande difficulté à se reproduire entre espèces différentes. Mayr Ernst a défini l'espèce comme des « *groupes de populations naturelles effectivement ou potentiellement interféconds qui sont reproductivement isolés des autres groupes de même nature* ». L'isolement reproducteur peut être dû au comportement de la parade sexuelle aussi bien qu'à un isolement géographique.

Race : elle peut être définie comme une collection d'individus de même espèce qui ont entre eux une histoire d'élevage commune et des caractères communs et qui les transmettent à leurs descendants. Les caractères communs peuvent être extérieurs ou non visibles de l'extérieur. La détermination de la race d'un animal n'est pas toujours aisée. Elle se trouve facilitée lorsqu'on peut examiner plusieurs animaux de la même race, lorsqu'on connaît le lieu où ces animaux vivent et qu'on peut la différencier d'autres races se trouvant dans la même région. La race n'est pas fixe : elle est le résultat d'une histoire durant laquelle sont intervenus de nombreux facteurs : migrations d'animaux, mutations de gènes, modifications du contexte économique et politique.

Autrefois, les races étaient peu spécialisées en France. Les populations animales se différenciaient en types régionaux plus ou moins homogènes, adaptés à un milieu climatique et géographique et à un mode d'élevage. Puis une sélection a été effectuée selon le modèle anglais, ce qui suppose :

- > un réseau d'éleveurs organisés ;
- > l'identification de leurs animaux à un patron standardisé ;
- > une image de marque d'aptitudes spécifiques ;
- > un profit à la clé pour les éleveurs sélectionnant leurs animaux.

La base humaine et sociale de la race est donc clairement établie.

La limite entre une race et une variété (sous-race) n'est pas nettement tranchée. C'est souvent l'usage qui le détermine, et il peut être remis en cause. Ainsi, malgré des différences locales, la race bovine N'Dama et la race ovine Djallonké portent partout le même nom. En revanche, on distingue la Baoulé, la Somba, la Muturu, races ou variétés fortement apparentées.

On ne peut pas toujours parler de races en Afrique par exemple, mais plutôt de *populations*. Il s'agit souvent de types génétiques dus à la volonté de l'homme, séparés par leur origine (moutons à longues ou courtes pattes) ou leur voie d'arrivée.

La race pure ou population animale sélectionnée (PAS) est un ensemble d'individus soumis à un même programme de sélection ou de conservation reconnu. On peut conseiller d'utiliser le nom de *population* pour un sous-ensemble d'une race dans une région donnée (par exemple la N'Dama dans un pays particulier où elle peut présenter des particularités) ou pour une race imparfaitement fixée.

Les souches (ovins, lapins) et *les lignées* (volailles, bovins, équins, porcins) sont des produits de sélection issus d'un petit groupe d'individus d'une race donnée. Ils permettent d'obtenir des caractères reproductibles avec peu de variabilité.

On élève aussi des produits de croisements entre races ou lignées (*croisement*, ou *métissage*) ou même entre espèces différentes (*hybridation*) : le mulot résulte du croisement de l'âne et de la jument, le mulard résulte du croisement entre le canard de Barbarie et le canard domestique. On parle aussi de *racés* ou de *lignées composites* ou *synthétiques*.

On indique en premier la race (ou l'espèce) du père. La méthode permet d'accumuler chez les produits croisés les avantages (complémentarité) de chaque race parentale (il peut y en avoir plus de deux). En première génération (F1), on bénéficie en plein de l'effet d'hétérosis (vigueur hybride) : la performance des animaux croisés est supérieure à la moyenne des performances des races parentales. En deuxième génération (F2 = F1 x F1), on ne bénéficie en théorie que de la moitié de l'hétérosis obtenu en F1 et l'hétérogénéité est plus grande.

● **Caractériser une race**

Pour bien décrire une race, il faut indiquer de nombreuses caractéristiques :

- > le nom usuel et les synonymes selon les lieux ou les ethnies ;
- > la répartition géographique actuelle et l'origine (berceau de race) ;
- > l'effectif par pays ou région ;
- > l'existence de livre(s) généalogique(s) : *herd-book* pour les bovins, *flock-book* pour les ovins et caprins ;
- > l'origine de la race (comment elle a été créée ou comment elle est apparue) ;
- > la description, y compris les mensurations (hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur scapulo-ischiale, etc.), les poids à âge-type (naissance, 6 mois, 1 an, adulte), la robe (phanérotique) et ses variations, le standard de la race (s'il y a un livre généalogique qui précise les préférences officielles) ;
- > le mode d'utilisation : les systèmes d'élevage habituels (plus ou moins intensif, nomade, transhumant ou sédentaire,...), et les aptitudes (viande, lait, travail, mixte) ;
- > les performances dans certains milieux. Dans un même milieu, les performances de diverses races sont le plus souvent différentes. Ainsi, la description des races comporte des éléments héréditaires (génétiques) et d'autres liés au milieu.

La répartition géographique gagne à être accompagnée de cartes et la description peut être illustrée par des photographies.

● **Les races locales et les races exotiques**

Dans les régions tropicales, les races locales sont souvent bien adaptées à leur milieu, mais peu productives. Leurs caractéristiques résultent d'une longue sélection en milieu défavorable, avec un climat sévère marqué par des périodes de carence alimentaire et de forts risques sanitaires, en particulier parasitaires. Ainsi certains taurins, ovins et caprins ayant vécu très longtemps au contact de la mouche tsé-tsé en Afrique ont développé une tolérance à la trypanosomose. Ils sont devenus trypanotolérants. Ils peuvent vivre, se reproduire et produire là où les animaux sensibles non traités meurent le plus souvent. D'autres animaux ont développé une tolérance aux tiques et aux maladies qu'elles transmettent.

Dans certains cas particuliers, des races exotiques pures peuvent être élevées : en zone d'altitude, en zone indemne de maladies graves ou avec une prophylaxie intense. C'est le cas par exemple de la Montbéliarde au Sénégal, de la Pie rouge des plaines au Mali ou la Pie rouge norvégienne à Madagascar. Elles ont besoin de davantage de soins que les races locales.

Souvent une bonne solution consiste à débiter par le croisement entre race locale et race exotique. La race locale apporte la rusticité et la race exotique une meilleure production. De plus, on bénéficie au début de l'effet d'hétérosis. L'amélioration est plus rapide que par la simple sélection de la race locale qu'il convient de conserver. Cette solution est souvent adoptée dans les projets d'amélioration de l'élevage laitier.

Au-delà de la première génération d'animaux croisés (F1) se pose la question de la poursuite de la sélection : on peut chercher à obtenir un niveau situé entre 50 et 75 % de sang exotique, ou bien opter pour un croisement alternatif ou encore pour un croisement d'absorption. Le choix dépend du niveau d'intensification possible.

L'ALIMENTATION DES RUMINANTS

Les ruminants tirent parti de matières organiques végétales pour élaborer des produits à haute valeur ajoutée. Grâce à la fermentation des végétaux dans leur rumen, ils élaborent des protéines microbiennes et des produits qui sont ensuite métabolisés. Cette aptitude leur confère une place tout à fait particulière dans les écosystèmes.

● **Les ressources utilisables**

Les systèmes d'élevage s'articulent autour de la disponibilité quantitative et qualitative en aliments. En conditions tropicales, cette disponibilité varie le plus souvent à la fois dans l'espace et dans le temps.

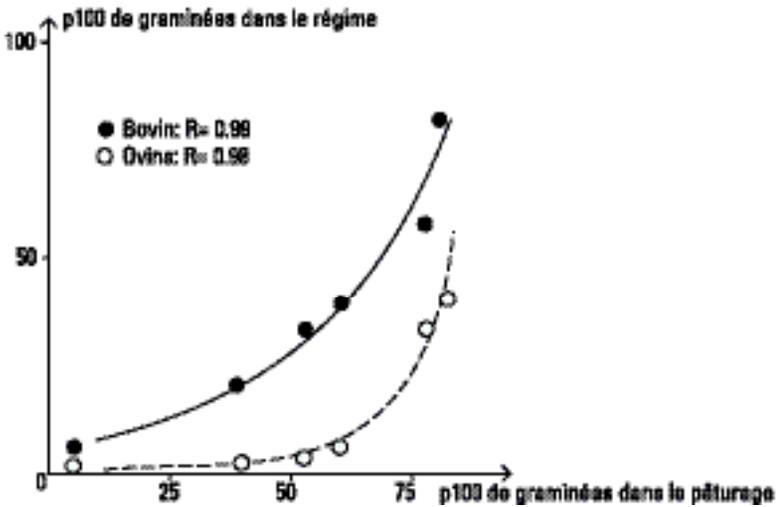
● **Les fourrages**

Les fourrages, constitués par l'appareil aérien (tiges, feuilles, fruits) des plantes naturelles ou cultivées appréciées par les animaux, sont plus ou moins riches en parois végétales. Celles-ci sont fermentées dans le rumen. Les fourrages, en général accessibles à faible coût, constituent la base de la ration alimentaire des ruminants.

● **Les pâturages en zones sèches**

Dans les systèmes pastoraux transhumants en zones sèches, ce sont les espèces herbacées annuelles qui contribuent à la constitution d'un pâturage de composition botanique très diverse selon le rythme des pluies, la nature du sol, la situation topographique et la pression de pâturage. Ces facteurs déterminent la germination et l'installation des espèces dont les semences sont présentes dans le sol : la part des graminées peut ainsi varier d'une année sur l'autre, pour un même site, de 20 à 80 %, la part des dicotylédones (dont les légumineuses) variant dans des proportions inverses.

Le régime des animaux sur ces parcours dominés par des espèces annuelles change donc beaucoup selon les ressources disponibles (figure 1). Les troupeaux exploitent généralement plusieurs types de végétation au cours d'une même journée, ce qui valorise la complémentarité nutritionnelle des fourrages ingérés. L'aptitude à valoriser la diversité des ressources est plus grande chez les petits ruminants que chez les bovins.



► Figure 1 : Contribution spécifique des graminées dans le régime des bovins et des ovins en fonction de leur importance dans le pâturage sur des parcours sahéliens (Guerin *et al.*, 1991)

La production dépend de la pluviosité locale et varie, selon les potentialités du sol, de 1 à 4 kg de matière sèche par millimètre d'eau. En zone sahélienne, en année normale (hors sécheresse caractérisée), elle est ainsi comprise entre 500 et 1 500 kg de MS/ha, suivant la latitude et la pluviosité. Le cycle de végétation est de deux à trois mois. Le feu est proscrit dans ce type de végétation, exploitée de manière saisonnière. Les éleveurs déplacent le bétail à mesure de l'évolution du front de végétation et des disponibilités.

● Les végétations des savanes

Dans les systèmes prairiaux extensifs, l'éleveur valorise la végétation des savanes. Boudet (1984) applique le terme *savane* à un type de végétation caractérisé par un couvert herbacé d'au moins 80 cm de hauteur, où les espèces se répartissent en deux strates. Les graminées y sont en majorité vivaces. Pour la plupart, elles forment des touffes isolées dont les tiges constituent une couche plus ou moins continue qui brûle ordinairement chaque année. Les plantes ligneuses y sont naturellement présentes ; leur taille et leur taux de recouvrement conduisent à distinguer différents types de savanes : boisée, arborée, arbustive, herbeuse.

En zone périforestière (Afrique centrale, Brésil) la strate herbacée entre en compétition avec la forêt. Elle résulte du défrichement pour les cultures et se maintient seulement par le feu. Il importe donc d'en assurer une gestion raisonnée afin de maintenir un potentiel de qualité et contrôler les adventices et les recrues ligneux.

En zone soudanienne, trois à quatre tonnes de matière sèche (MS) par hectare et par an sont produites ; le chiffre s'élève à six à sept tonnes de MS/ha/an en zone guinéenne au moment où la biomasse est maximale. À ce stade, la végétation comporte toutefois une forte proportion de matériel mort et non consommable qui sèche sur pied ; il est très lignifié et peu apprécié par les animaux. Le feu organisé par les éleveurs permet toutefois des repousses de bonne valeur nutritive et limite l'embroussaillage.

La date et la fréquence des feux constituent un élément essentiel de la gestion de ces savanes. Différents schémas de rotation de feux peuvent être mis au point ; ils varient selon les types d'élevage, le climat et la nature des formations végétales.

La connaissance des repousses permet d'évaluer la production de façon plus réaliste et de mesurer la productivité journalière nette du couvert herbacé ; on peut ensuite mettre ce paramètre en relation avec la valeur alimentaire selon l'âge de repousse et avec les besoins quotidiens d'un animal de référence.

Production de biomasse de repousse et paramètres climatiques : exemple de la zone guinéenne de Côte d'Ivoire

En étudiant les repousses de 30 jours, César (1992) a établi pour la zone guinéenne de la Côte d'Ivoire un modèle quadratique liant la production de repousses en g MS/m² à la pluviosité en mm observée au cours des 30 jours de repousse :

$y = 15,19 + 0,488x - 0,0013x^2$ ($r = 0,68$) avec y = production de biomasse de repousse (30 jours) en g/m² et x = pluviosité au cours des 30 derniers jours en mm.

Cette relation, adaptée à des conditions de climat et de végétation très locales, n'est bien évidemment pas générale et doit être adaptée à chaque contexte.

Sans gestion de la charge, le disponible fourrager est en excès en saison des pluies. Le bétail se concentre alors sur certaines zones pour disposer en permanence de jeunes repousses. En conditions de surpâturage, les bonnes espèces fourragères s'épuisent, tandis que les espèces indésirables envahissent le pâturage. Une gestion rationnelle doit permettre de pérenniser ou de réinstaller les bonnes espèces et d'améliorer la valeur alimentaire des repousses.

La gestion raisonnée consiste à ajuster la charge instantanée de la surface dévolue aux animaux à sa productivité, en évitant que le bétail ne se laisse dépasser par la pousse et ne crée un sous-ensemble de parcelles surpâturées. La biomasse produite est alors plus faible qu'en laissant la plante accomplir son cycle, mais elle est presque totalement consommable.

C'est le rapport des quantités de repousses produites entre les saisons sèches et humides qui détermine les surfaces à utiliser ou à mettre en défens, pour un troupeau donné, à chaque saison. L'évolution de la qualité des repousses et le vieillissement de l'herbe déterminent quant à eux la périodicité des feux.

● **Les fourrages ligneux**

Dans les systèmes sylvopastoraux, les ligneux peuvent constituer une part non négligeable de l'apport fourrager sur parcours. Leur utilisation spontanée, très variable suivant les disponibilités en d'autres fourrages, peut atteindre 30 % de la ration des bovins, 50 % de celle des ovins, 80 % de celle des caprins et camélins. La présence d'arbres et d'arbustes, fourragers ou non, dépend des types de végétation : au Sahel par exemple, le couvert ligneux est compris entre 2 % de la surface des parcours sur steppes herbeuses (moins de 50 tiges à l'hectare) et 15 à 20 % sur steppe boisée (400 à 600 tiges à l'hectare).

Dans les zones à pluviométrie suffisante (aux environs de 1 000 mm), plusieurs arbustes sont cultivés pour leur feuillage : on peut citer *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* et *Calliandra calothyrsus*.

Le rôle fourrager des ligneux dépend de leur valeur alimentaire et de plusieurs autres facteurs : appétabilité, stade phénologique, accessibilité, pratiques éventuelles de récolte et de commercialisation.

En élevage agropastoral, les ligneux servent principalement de complément pour les petits ruminants, les animaux de trait et les bonnes vaches laitières ; la ration de base est assurée par des fourrages de bonne qualité ou des sous-produits agro-industriels. Ce complément peut procurer un apport intéressant en azote. Néanmoins, si la teneur en matières azotées des ligneux est souvent élevée, leur digestibilité est très variable (des facteurs antinutritionnels peuvent être présents. La productivité fourragère des ligneux est évaluée sur la base des densités de peuplement, de la taille des arbres et arbustes, du cycle phénologique et du cycle de croissance foliaire.

Pour la production de feuilles, on peut distinguer :

- > *la biomasse maximale* mesurée en fin de saison des pluies ou évaluée par des relations d'allométrie ;
- > *la biomasse saisonnière* calculée en fonction de la biomasse maximale et du cycle de feuillaison ;
- > *la biomasse utile*, fraction accessible aux animaux en fonction de sa répartition spatiale : accessible en hauteur (*disponible*), accessible en profondeur de houppier (fonction de la densité des branchages et des épines).

● **Les cultures fourragères²**

Les fourrages cultivés peuvent constituer la base alimentaire en systèmes herbagers ou participer à la complémentation au cours des périodes déficitaires dans les systèmes agropastoraux.

De nombreux facteurs favorisent l'adoption des cultures fourragères ; on peut citer notamment les réformes foncières, la production de plantes fourragères à double usage (sorgho, mil, etc.), les techniques d'amélioration des jachères, la mise au point de nouveaux systèmes de culture avec par exemple le semis direct sous couverture végétale, l'intensification de certaines filières d'élevage (production laitière, petits ruminants).

Les cultures fourragères se développent rapidement en Amérique du Sud et dans les départements et territoires français d'outremer ; elles progressent en revanche plus lentement dans les systèmes de production africains. Les raisons sont nombreuses : absence de tradition de culture pour l'alimentation du bétail, manque de terre, inadaptation des règles d'utilisation des parcours, coût des semences et des clôtures et valorisation économique moindre des intrants (eau et engrais) par rapport aux cultures vivrières ou de rente.

La culture fourragère représente un investissement (terre, main-d'œuvre, intrants) dont la valeur et la rentabilité doivent être appréciées avant de lancer un programme de vulgarisation des techniques de culture, de récolte et de conservation des fourrages.

² Cf. section 52, chapitres 521 et 522.

L'amélioration des niveaux d'intensification peut être obtenue, de façon modulable, selon trois axes :

- > *amélioration des parcours naturels* par sursemis simple de graminées et de légumineuses ;
- > *culture fourragère extensive* avec un léger travail du sol, un semis ou un bouturage et l'absence de fertilisation ;
- > *intensification par la mécanisation et la fertilisation*, avec un semis direct en parcelles ou en bandes ou sous céréales avec une gestion des refus à l'exploitation. Ces pratiques culturales sont utilisées dans les ranches de zone humide (surface fourragère comprise entre 10 et 100 hectares) ou dans les exploitations de polyculture-élevage (surface fourragère comprise entre 0,1 et 1 ha). Les productions annuelles atteignent généralement dix à quinze tonnes de MS/ha de fourrage pour les graminées et cinq à dix tonnes pour les légumineuses. L'irrigation (4 mm/jour) et la fertilisation optimale des graminées (jusqu'à 500 unités N/an) aboutissent à des productions de quinze à trente tonnes de MS/ha/an de fourrage pour des graminées de grande taille comme *Pennisetum purpureum* ou *Panicum maximum*.

Les critères de choix des espèces fourragères

Les critères de choix d'espèces fourragères pour des prairies permanentes de longue durée en régime pluvial sont les suivants :

- > facilité et rapidité d'installation (vitesse de germination puis de couverture du sol) avec le minimum d'entretien et de fertilisation ;
- > pérennité ou resemis naturel ;
- > productivité en semences ;
- > productivité annuelle et ratio de la production en saison sèche/production en saison des pluies ;
- > persistance interannuelle de la production ;
- > résistance au pâturage, à la fauche et au feu ;
- > valeur nutritive, appétabilité et ingestibilité ;
- > capacité à améliorer la fertilité des sols.

Les critères de choix d'espèces fourragères pour des cultures intensives irriguées et fertilisées sont les suivants :

- > rendement, y compris aux périodes de faible luminosité et de basse température ;
- > tolérance au sel ;
- > valeur alimentaire et souplesse d'exploitation ;
- > adaptation de l'espèce au pâturage (résistance au piétinement, faible taux de refus) ou au contraire adaptation à la fauche et à l'alimentation à l'auge.

● Les résidus et sous-produits de culture

Dans les systèmes agropastoraux en zone sèche et dans les systèmes périurbains, les produits de culture sans valeur directe sont utilisables en complémentation alimentaire. Les fanes (arachide, pois, haricots) et les pailles (maïs, sorgho, riz, millet), les bouts blancs de canne, les feuilles et les stipes de bananiers, les tubercules et les feuilles de manioc constituent un ensemble diversifié de ressources fourragères.

Elles jouent un rôle de première importance pour faciliter le passage de la saison sèche ou pour constituer des rations équilibrées en cas de systèmes en stabulation permanente ou partielle. Ces fourrages peuvent représenter 30 à 50 % de la ration quotidienne des animaux. Leur disponibilité dépend de la nature et de l'intensité de l'activité agricole dans la zone. Leur utilisation fait souvent l'objet de tractations commerciales ou d'échanges entre éleveurs et agriculteurs ; elle participe grandement aux transferts de fertilité à l'intérieur des systèmes.

Leur valeur alimentaire est très variable. Limitée dans le cas des pailles, elle peut en revanche contribuer à apporter de l'azote dans le cas des fanes de légumineuses ou de l'énergie dans le cas des tubercules.

● Les sous-produits agro-industriels (SPAI)

Les produits dérivés de la transformation industrielle des matières premières agricoles constituent un dernier groupe de ressources. On les qualifie souvent de *concentrés* car ils contiennent moins de fibres et en général des proportions d'énergie et ou d'azote digestibles nettement plus importantes que les fourrages. C'est le cas pour les sous-produits de l'huilerie (tourteaux de coton, d'arachide, de soja, etc.), de la meunerie (sons, issues, farines basses de céréales), de la sucrerie et de la brasserie (bagasses, mélasse, drèches) ainsi que de la conserverie de légumes ou de fruits (tomates, ananas, agrumes, etc.).

Ces produits sont utilisés pour compléter une ration de base constituée de fourrages. Pour un objectif de production donné, ils sont distribués de façon à équilibrer l'alimentation en regard des besoins en énergie et en azote de l'animal.

Ils ne sont toutefois pas aussi accessibles que les fourrages ; leur disponibilité dépend de l'existence d'une industrie locale, du transport, des cours du marché et de la pression de la demande.

● La conservation des aliments

Dans les systèmes d'alimentation où la disponibilité en ressources n'est pas continue, la constitution de réserves permet de disposer de fourrages en dehors de la période favorable à la végétation. La constitution de ces réserves représente un investissement non négligeable en temps et en main-d'œuvre. S'y ajoute le risque de détérioration du stock constitué : incendie, problème de conservation, etc.

Les réserves peuvent être constituées soit en fauchant et fanant l'herbe de brousse en fin de saison des pluies, soit en stockant les résidus ou sous-produits des cultures à la récolte (fanés d'arachide ou de niébé, etc.), soit encore à partir de cultures fourragères proprement dites, en coupant l'herbe verte puis en fanant ou ensilant. Le fanage dépend beaucoup des conditions climatiques. Il consiste à sécher le fourrage coupé à un stade optimum pour ensuite le mettre en bottes et le stocker à l'abri. L'ensilage consiste à collecter une masse importante de fourrage récolté à un stade adéquat (haute valeur énergétique, richesse en sucres), à le tasser dans un contenant étanche (silo, emballage), de manière à provoquer une fermentation anaérobie qui acidifie le fourrage et le conserve.

● La valeur alimentaire des aliments

Pour couvrir ses besoins quotidiens, le ruminant doit disposer d'un aliment qui lui apporte des quantités suffisantes d'énergie et de matières azotées. Les quantités d'aliments ingérables chaque jour sont limitées, notamment dans le cas des fourrages, par l'encombrement créé au niveau du rumen et par la capacité d'ingestion de l'animal. On traduit donc généralement la qualité de la ration en termes de valeur énergétique, de valeur protéique et d'ingestibilité. Et l'on met ensuite cette valeur en relation avec les besoins en énergie et en protéines de l'animal ainsi qu'avec sa capacité d'ingestion.

● La digestion

De par son anatomie digestive, le ruminant transforme d'abord les aliments qu'il ingère. Il absorbe ensuite des nutriments qui ne résultent pas de la simple dégradation des aliments consommés. Les systèmes d'évaluation de la valeur alimentaire tiennent compte du rôle très particulier et essentiel des fermentations microbiennes dans le système de digestion en deux étapes des ruminants.

Le rumen contient une importante population microbienne (bactéries, protozoaires) qui, en association avec l'activité de mastication, dégrade et fermente une fraction de l'aliment, produit des métabolites et se multiplie en consommant une partie de ceux-ci.

La dégradation de la cellulose, de l'amidon et des sucres génère de l'énergie dispersée sous forme de chaleur, réutilisée par les microbes sous forme d'ATP, et, principalement d'acides gras volatils (AGV) absorbés à travers la paroi du rumen. Les AGV sont ensuite métabolisés au niveau des organes (foie, muscle, mamelle) comme précurseurs d'autres molécules et comme fournisseurs d'énergie. Ils contribuent surtout à apporter l'énergie nécessaire à la prolifération de la population microbienne.

Les protéines dégradées en peptides et acides aminés génèrent de l'ammoniaque, principale source d'azote dans les synthèses microbiennes. Les composés azotés dégradés dans le rumen entrent dans les voies de la synthèse microbienne au prorata des quantités d'énergie disponibles pour cette synthèse. Un déficit en énergie ou en azote limite la synthèse. Il faut donc un minimum de matières organiques et de matières azotées fermentescibles pour assurer une bonne dégradation des aliments, ce qui n'est pas toujours le cas avec des régimes à base de fourrages grossiers tropicaux. À l'opposé, un excès d'azote dégradable aboutit à un gaspillage d'azote par l'animal ; l'ammoniaque en excès est en effet alors absorbé dans le rumen et en grande partie évacué par le système urinaire. Cette interdépendance entre l'énergie et l'azote est à la base de la construction des tables de valeur alimentaire actuellement utilisées. Au-delà de la valeur alimentaire des apports, ce système permet également d'estimer les rejets d'azote par l'animal.

Les matières alimentaires non dégradées ne peuvent pas être absorbées au niveau du rumen. Le contenu de ce dernier est continuellement transféré vers la caillette puis l'intestin où prend place une digestion de type monogastrique, à caractère enzymatique. Les fractions énergétiques et protéiques des *digesta* parvenant dans l'intestin grêle sont constituées d'un mélange de matières alimentaires non dégradées et de matières microbiennes ; ces dernières possèdent un profil en acides aminés essentiels différent de celui des végétaux de l'aliment. Les acides aminés d'origine alimentaire ou microbienne permettent de couvrir les besoins métaboliques des ruminants.

Ces derniers sont capables de tirer parti d'un aliment au profil en acides aminés peu équilibré en le transformant en protéines de haute valeur biologique.

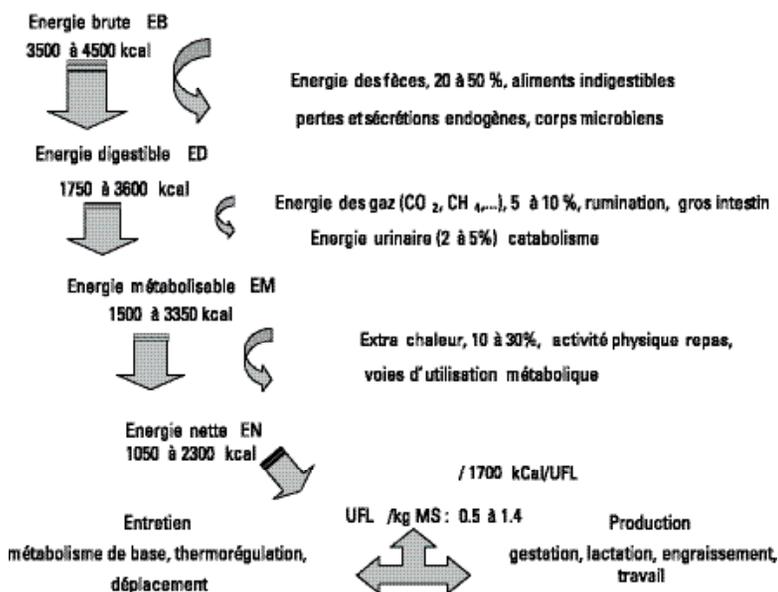
● L'expression de la valeur énergétique

Les systèmes d'expression de la valeur énergétique prennent en compte la transformation de l'énergie brute de l'aliment en énergie métabolisable et les différences de rendement d'utilisation qui aboutissent à l'énergie nette. Cette énergie nette sert à couvrir des besoins d'entretien, de croissance ou de production de lait. La valeur de l'aliment et les besoins de l'animal sont exprimés dans la même unité.

Dans le système français établi par l'INRA, l'unité fourragère lait (UFL) équivaut à l'énergie nette d'un kilogramme d'orge standard, soit 1 700 kcal ou 7,12 Mjoules d'énergie nette pour l'entretien et la lactation. L'unité fourragère viande (UFV) correspond à 1 850 kcal d'énergie pour la production de viande. Elle est rarement utilisée en pays tropicaux, car elle est réservée à des animaux dont le niveau de besoin énergétique est supérieur à 1,5 fois le besoin d'entretien, ce qui correspond par exemple à un gain journalier de 750 g pour des zébus africains.

L'établissement de la valeur énergétique s'effectue selon des standards de calcul dans lesquels on tient compte des paramètres de composition chimique et de digestibilité estimée de l'aliment. Le diagramme de la figure 2 présente le schéma général de l'estimation de la valeur UFL d'un aliment.

Les étapes du calcul comprennent l'établissement de l'énergie brute (EB) de l'aliment, la transformation en énergie digestible (ED), puis métabolisable (EM), et enfin nette (ENL) exprimée en UFL pour l'entretien et la production de lait ou de viande. Dans la pratique, on recourt de plus en plus à la technique de la spectrométrie dans le proche infrarouge pour estimer de manière rapide et peu coûteuse la valeur de l'aliment.



► Figure 2 : Décomposition et utilisation de l'énergie de l'aliment. Estimation de sa valeur UFL

● L'expression de la valeur protéique

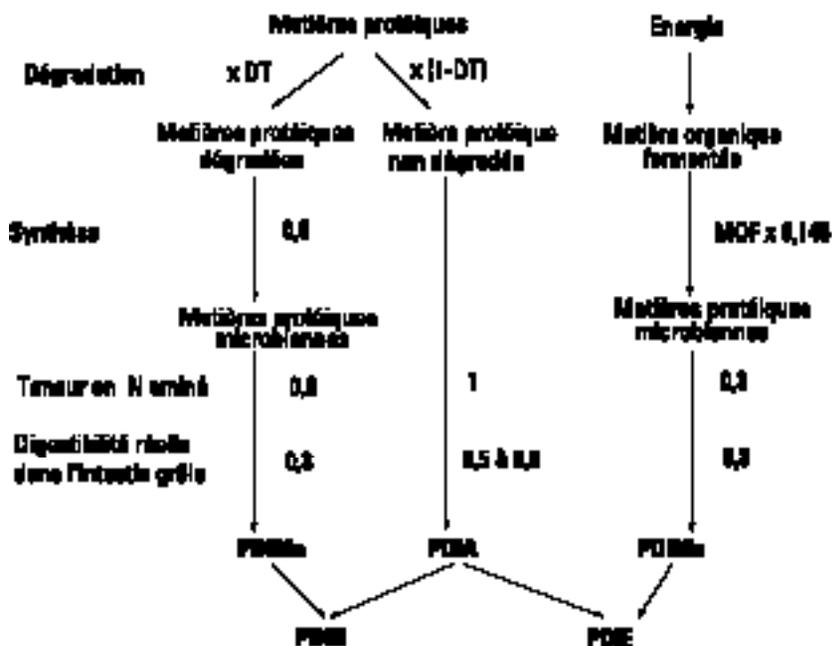
La plupart des systèmes alimentaires utilisaient jusqu'au début des années 80 l'expression en matières azotées digestibles (MAD) et se basaient sur des mesures de digestibilité apparente des matières azotées totales (MAT) des aliments. La relation entre MAD et MAT s'établissait selon la formule suivante :

$$MAD = 9,29 \times MAT - 35,2 \text{ (MAD exprimé en g/kg MS et MAT en \% de la MS)}$$

Ce système ne tient toutefois pas compte du rôle très particulier et essentiel des fermentations microbiennes dans le système de digestion en deux étapes des ruminants.

Le calcul de la valeur azotée est désormais de plus en plus souvent effectué selon les normes du système français des protéines vraies digestibles dans l'intestin (PDI).

La procédure de calcul est illustrée à la figure 3. Elle consiste à établir la quantité de protéines dégradables dans le rumen ainsi que la quantité de matière organique fermentescible (MOF). On calcule ensuite, selon des coefficients propres à l'aliment, les quantités de protéines microbiennes qui peuvent être élaborées et digérées, soit selon l'énergie fermentescible ($PDIM_E$), soit selon la quantité d'azote dégradé ($PDIM_N$). Ces quantités ajoutées à la quantité de protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA) aboutissent à deux valeurs, PDIN (= $PDIM_N + PDIA$) et PDIE (= $PDIM_E + PDIA$). On choisit la valeur la plus basse, qui dépend du facteur limitant dans la synthèse ruminale (soit l'énergie, soit l'azote). Dans le cas des fourrages tropicaux, il s'agit généralement de la valeur PDIN, l'azote étant le plus souvent le facteur limitant.



► Figure 3. Schéma de l'établissement des valeurs PDI

● L'ingestion

Chez les monogastriques, l'ingestion est principalement contrôlée par le niveau des métabolites circulant dans le sang. Chez les ruminants, elle est d'abord liée à la capacité du rumen et au temps qu'il faut pour réduire l'aliment en particules de taille suffisamment petite pour qu'elles transitent vers les compartiments suivants.

L'ingestion peut être envisagée selon deux aspects :

- > *la capacité d'ingestion de l'animal, variable selon l'espèce, la taille corporelle et l'état physiologique de l'animal.* La matière sèche volontairement ingérée par l'animal augmente avec son poids vif de façon presque linéaire. L'augmentation de la *capacité d'ingestion* est liée à celle des besoins énergétiques dont une grande part est consacrée à l'entretien ; elle est permise par l'accroissement de la capacité du rumen. Rapportée au poids vif, la matière sèche volontairement ingérée diminue ; elle reste à peu près constante si on la rapporte à une puissance du poids vif. Dans la plupart des systèmes, on admet une puissance de 0,75 dans l'expression de ce que l'on qualifie alors de *poids métabolique de l'animal* ($P^{0,75}$). Ceci permet, à l'intérieur d'une catégorie ou d'une espèce animale, l'expression uniforme de l'ingestibilité ou de la capacité d'ingestion en termes de gramme de matière sèche par kilo de poids métabolique ;
- > *l'ingestibilité de l'aliment, c'est-à-dire son aptitude à être ingéré en plus ou moins grande quantité par l'animal.* Pour les fourrages naturels, ce paramètre varie selon l'*appétibilité* (attrait exercé sur l'animal, caractéristiques organoleptiques) et, pour une large part, selon la digestibilité et la teneur en azote. On admet généralement que 70 % des variations d'*ingestibilité* peuvent être attribués à des variations de composition chimique et de digestibilité. Des fourrages âgés, à teneur élevée en fibres et lignine, et à teneur faible en protéines, séjournent plus longtemps dans le rumen. La limitation des quantités d'azote dégradable et d'énergie fermentescible ralentit d'autant le développement de la population bactérienne cellulolytique. Le transit et la reprise de l'ingestion se font moins rapidement que pour des fourrages plus jeunes.

La notion d'ingestibilité est importante à retenir, car elle change beaucoup selon les fourrages, en particulier en zone tropicale : elle varie de 45 à 80 g de MS par kg de poids métabolique pour les fourrages soudano-sahéliens.

Exemple de variation de l'ingestibilité selon les fourrages

Une vache de 300 kg de poids vif consomme 7 kg de matière sèche (MS) d'un tapis herbacé à base de graminées au stade végétatif ou 7,8 kg de MS de fanes de niébé, mais seulement 4,3 kg de MS de paille de sorgho lorsque ces fourrages sont offerts seuls.

● La valeur nutritive des fourrages et des autres aliments

Dans l'intensification des systèmes en place, il importe d'appréhender autant que possible la qualité réelle des fourrages pour pouvoir ensuite apprécier l'intérêt qualitatif et économique d'un recours à d'autres ressources.

Pour les fourrages tropicaux, tout comme pour les fourrages tempérés, la digestibilité est le facteur de variation le plus important de la valeur énergétique. Elle varie selon les espèces et diminue au cours de la croissance de la plante. Les valeurs de digestibilité de la matière sèche d'échantillons d'espèces tropicales, présentent une plage de variation allant de 30 à 75 %. Les espèces tempérées évoluent entre 45 et 85 %, avec une valeur moyenne supérieure de 12,5 % à celle des espèces tropicales.

L'activité et le rendement photosynthétique des cultures fourragères sont liés à la température ambiante et aux disponibilités en eau. En conditions de température et de nutrition hydrique optimales, la vitesse de croissance augmente et la graminée élabore davantage de produits de structure (hémicellulose, cellulose). Elle se lignifie alors plus rapidement et perd de sa digestibilité. Avec l'âge également, la graminée devient moins digestible et la valeur énergétique diminue.

Exemple de *Pennisetum pedicellatum* en zone soudano-sahélienne

Guérin (1987) illustre bien l'incidence de ces paramètres sur la composition chimique et la digestibilité d'une graminée naturelle telle que *Pennisetum pedicellatum* en zone soudano-sahélienne. En fin de cycle, au début de la saison sèche, la valeur alimentaire décroît très rapidement. Ceci est particulièrement important à prendre en compte pour planifier la fauche pour le stockage de fourrages (cf. tableau 2).

Tableau 2. Evolution de la valeur alimentaire de *Pennisetum pedicellatum* en début de saison sèche dans la zone soudano-sahélienne

Dates	Matière sèche (%)	Matières azotées totales	Cellulose brute	NDF	ADF	Lignine	Digestibilité matière organique (%)
18-22 oct	21	105	352	690	379	40	60
23-28 oct	25	109	365	696	415	45	60
29 oct-3 nov	26	92	346	707	392	57	57
4-9 nov	31	88	380	747	413	61	51
10-15 nov	53	53	391	777	461	73	51
16-21 nov	64	64	378	747	444	80	45

Le tableau 3 traduit l'ordre de grandeur des variations de valeur alimentaire d'une large gamme de fourrages cultivés et naturels sous différentes conditions de fumure azotée. La digestibilité de la matière organique et l'ingestibilité de la matière sèche ont été évaluées en Guadeloupe, dans des conditions de sol et de climat similaires à celles de la zone guinéenne. Les valeurs évoluent avec l'âge ; les teneurs en protéines sont généralement peu élevées et décroissent très rapidement. Les valeurs PDIN sont généralement inférieures aux valeurs PDIE, traduisant ainsi le déséquilibre quasi constant entre l'énergie et l'azote du fourrage au niveau du rumen et la nécessité de compléter les rations en azote. L'ingestibilité décroît dans des proportions réduites. Les valeurs UFL ont été calculées selon la digestibilité de la matière organique (dMO) ; les deux variables évoluent de la même manière.

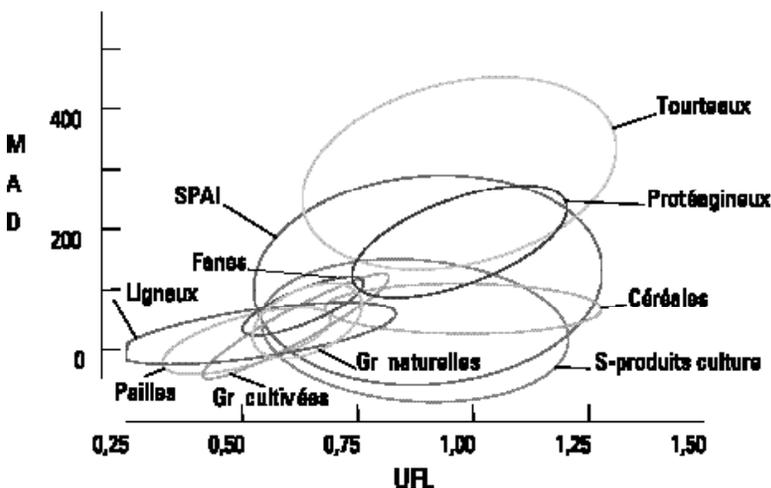
Tableau 3. Valeurs alimentaires de fourrages de la Guadeloupe, selon l'âge de la repousse : moyennes (et amplitudes)

Age de repousse (en semaines)	MAT (% MS)	CB (% MS)	dMO (% MO)	MS ingérée mouton (g/kg ^{PP0,75})	PDIN (g/kg MS)	PDIE (g/kg MS)	UFL kg MS
4	12,3 (3,8-20,8)	28,7 (15,6-41,7)	62,3 (48,2-76,3)	63 (52-73)	79 (25-133)	89 (56-122)	0,71 (0,49-0,93)
5	11,8 (6,5-17,1)	29,5 (21,4-37,5)	63,1 (54,5-71,8)	63 (57-69)	76 (42-109)	89 (69-109)	0,74 (0,60-0,88)
6	9,9 (5,2-14,5)	28,2 (21,1-35,3)	61,8 (54,2-69,4)	61 (55-67)	63 (34-93)	81 (63-99)	0,71 (0,59-0,83)
7	10,2 (5,5-14,8)	30,3 (23,2-37,4)	60,7 (53,1-68,4)	61 (55-66)	65 (35-95)	82 (64-100)	0,70 (0,58-0,82)
8-9	9,4 (4,4-14,5)	31,2 (23,5-38,8)	59,9 (51,6-68,2)	60 (54-66)	60 (28-93)	79 (60-98)	0,69 (0,56-0,82)
10 à 12	8,5 (3,2-13,8)	31,5 (23,3-39,6)	59,4 (50,6-68,1)	59 (52-65)	55 (20-89)	76 (56-96)	0,68 (0,55-0,82)
> 12	7,8 (3,3-12,3)	31,5 (24,6-38,4)	56,8 (49,4-64,3)	57 (52-63)	50 (21-79)	72 (54-89)	0,65 (0,53-0,76)

Sources : Xandé *et al.*, 1991.

Dans la conception d'un système d'alimentation amélioré, après avoir inventorié les disponibilités, il faut apprécier la qualité alimentaire des ressources autres que l'herbe et rechercher un équilibre économiquement rentable entre les besoins en énergie et en azote, selon l'objectif de production et la distribution des différentes ressources.

À la diversité des ressources correspond une grande diversité de valeurs alimentaires. La figure 4 compare l'amplitude de variation de ces valeurs et illustre la complémentarité entre les produits fourragers, peu coûteux, disponibles en grandes quantités et les sous-produits de l'agriculture et de l'industrie, utilisables en quantités limitées pour combler les déficits en énergie ou en azote de la ration quotidienne.



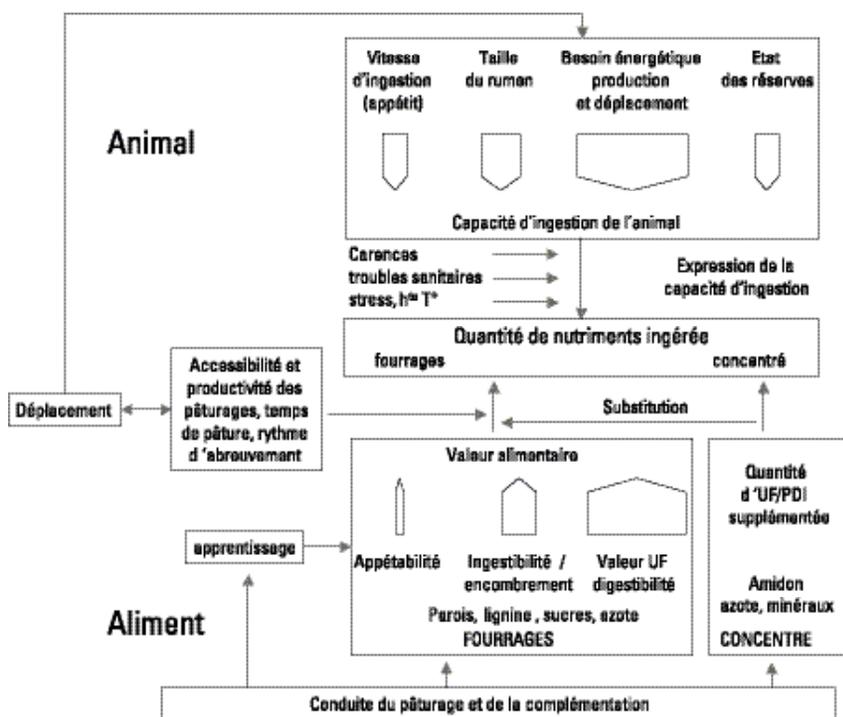
➤ Figure 4 : Variabilité de la valeur alimentaire de différents types d'aliments

● Le rationnement

● Le recours aux méthodes d'évaluation de l'alimentation

L'application pratique des méthodes d'évaluation dépend du système d'élevage. Dans un élevage extensif transhumant de bovins à viande, la formulation exacte d'une ration alimentaire équilibrée a peu de sens. Elle est en revanche utile pour l'amélioration d'un élevage laitier périurbain.

En intégrant les facteurs de disponibilité et d'accessibilité, d'environnement et d'état sanitaire, on utilise donc le référentiel disponible pour comparer et hiérarchiser les valeurs des fourrages ou autres aliments, selon des critères de nature, de types de végétation, de saison ou de complémentarité. Le but est de faire tendre l'apport quotidien vers la couverture des besoins théoriques en énergie et en protéine correspondant à un objectif de performance fixé, en tenant compte de la capacité d'ingestion de l'animal.



► Figure 5 : Schéma des facteurs à prendre en compte pour une adéquation entre les besoins de l'animal et la valeur alimentaire de la ration consommée.

● Les apports alimentaires et la couverture des besoins

Les besoins propres aux différentes catégories de ruminants sont repris en détail dans les chapitres qui leur sont consacrés (chapitres 712 et 713). Le tableau 4 présente les besoins alimentaires quotidiens des bovins (vache laitière ou bovin à viande).

Pour illustrer la conception d'une ration, nous prendrons l'exemple d'une vache laitière, exemple le plus technique et où les systèmes d'élevage peuvent être très divers. Le rationnement se conçoit à partir d'une ration de base, composée de fourrage ou d'un aliment de lest, qui couvre l'entretien et un minimum de production. En zone tempérée, la production varie de 20 à 25 kg de lait par jour avec un excellent fourrage (herbe feuillue de valeur nutritive >0,90 UFL et environ 100 g PDI /kg MS) à 5 kg de lait par jour avec une ration de faible valeur alimentaire. En zone tropicale, la ration de base permet rarement de produire plus de 8 kg de lait.

La ration de base doit être combinée avec un complément qui équilibre la ration en fonction des besoins de l'animal. Avec deux aliments, le calcul de la ration est simple. Au-delà de deux aliments, il faut fixer la quantité de l'un d'eux ou de plusieurs avant de calculer la composition du complément. Il existe aujourd'hui des logiciels qui permettent de calculer les rations. Toutefois, même avec ce type d'outil, il est indispensable de bien caractériser les aliments disponibles, de connaître les bases du rationnement et de raisonner les différents apports et les différents teneurs en énergie et en matières azotées des aliments.

Il est toujours recommandé de faire les calculs de ration par rapport à la matière sèche. C'est d'autant plus important que les animaux reçoivent des fourrages dont la teneur en eau est très variable. Au terme des calculs, les quantités d'aliments sont rapportées aux poids bruts effectivement distribués, en tenant compte des refus.

Tableau 4. Besoins alimentaires quotidiens des bovins (vache laitière ou bovin à viande)

	Poids vif (kg)	Energie (UFL)	Matières azotées		Minéraux		
			PDI (g)	MAD (g)	CA (g)	P (g)	Na (g)
Entretien	200	2,2	173	160	12	7	4
(stabulation	300	3,0	234	216			
entravée)	400	3,7	291	268	24	17	6
	500		344	315			
	600	5,0	394	360	36	27	8
Gestation (3 derniers mois)		+ 20-50 %	+ 50 %	+ 50 %	+ 25-50 %	+ 15-30 %	+ 25%
Lactation (par kg de lait)		0,41 à 0,54 selon le taux de MG (35 à 55 kg)	48	60	3,5	1,7	0,5
Croissance engraissement		1,4 UF/ kg gain au sevrage 2,7 de 1 à 1,5 ans 3,0 de 1,5 à 2 ans 3,2 de 2 à 3 ans 3,2-3,5 après 3 ans	32 g/100 g gain PV	35 g/100 g gain PV	15 g/kg de gain	9 g/kg de gain	2 g NaCl/kg de gain

Les calculs se font toujours pour l'énergie et les matières azotées. Il faut ensuite vérifier si l'animal a la capacité de consommer la quantité de matière sèche proposée (tableau 5). Les apports en minéraux sont ensuite ajustés ; leur encombrement est faible et l'apport supplémentaire en matière sèche n'a pas d'effet significatif sur la capacité d'ingestion de l'animal.

Tableau 5. Consommation journalière estimée de matières sèche (en kg) par vache

Poids vif (kg)	Valeur énergétique des rations (UFL / kg MS)			
	0,40 à 0,55	0,50 à 0,70	0,64 à 0,80	> 0,80
200	3,0 à 4,5	4,0 à 5,0	4,7 à 6,5	6,0 à 8,0
300	4,5 à 6,0	5,0 à 7,0	6,5 à 9,0	7,5 à 9,0
400	6,0 à 7,5	6,5 à 8,5	8,0 à 12,0	9,0 à 13,0
500	7,0 à 9,0	8,0 à 10,0	10,0 à 15,0	13,0 à 17,0
600	8,0 à 10,5	9,0 à 11,5	11,0 à 17,0	17,0 à 23,0

Sur le plan théorique, le calcul est simple : il revient à résoudre deux équations du premier degré à autant d'inconnues qu'il y a d'aliments à incorporer. Une équation est posée pour l'énergie, une seconde pour les MAD ou les PDI selon les références dont on dispose. La quantité moyenne d'eau bue est indiquée au tableau 6.

Tableau 6. Quantité d'eau bue en fonction de la ration de base (en litres/kg MS ingérée)

Nature de la ration	Production faible ou moyenne		Forte production	
	Saison fraîche	Saison chaude	Saison fraîche	Saison chaude
Fourrages secs	4,0	5,5	4,0	5,2
Ensilages de céréales fourragères	2,5	3,2	3,0	3,5
Graminées jeunes (teneur en eau de 85 %)	1,5	2,2	1,5	2,0

● Le rationnement laitier en système agriculture-élevage

Nous reprenons ici en le complétant l'exemple abordé dans le chapitre 65.

Les besoins correspondant à l'objectif de production

L'objectif est d'obtenir une production de 3 kg de lait à 5 % de matières grasses avec une vache zébu de 300 kg entretenue sur une parcelle de riz après récolte. Cet objectif permet d'estimer les besoins à 5,2 UFL, 440 g de MAD³ avec un rapport MAD/UFL = 85 g.

Les ressources disponibles

La ration de base est constituée de paille de riz et les aliments disponibles sont les sons et les issues de riz, le tourteau d'arachide et les graines de coton. La ration de base est d'une teneur faible en matières azotées ; les autres aliments en sont bien pourvus pour certains et devraient permettre un ajustement.

Les apports de la ration de base et les déficits en UFL et MAD

Il faut estimer les quantités de matière sèche qui seront ingérées par l'animal. Pour l'objectif ci-dessus, il faut cibler une ration comprise entre 0,64 et 0,8 UFL / kg MS qui sera consommée dans des limites comprises entre 6,5 et 9 kg de MS, soit une moyenne de 7,6 kg de MS qui sert de base de référence.

3 On garde dans ce premier exemple l'expression ancienne en MAD qui reste toujours d'actualité pour les animaux à production limitée.

La ration de base doit être fixée : dans ce cas, on estime (tableau 5) que la vache consomme 4,5 kg de MS de paille de riz soit un apport de 2,3 UFL et 13,5 g de MAD. Le déficit par rapport aux besoins est de 2,9 UFL et 427 g de MAD.

La recherche d'un complément adéquat

La quatrième étape porte sur l'analyse du déficit, l'appréciation des aliments disponibles et le calcul du complément. Dans l'exemple décrit ci-dessus, le déficit est important pour l'énergie et les MAD. Pour le combler facilement, il faudrait distribuer 3,4 kg de MS d'un aliment d'une teneur de 1 UFL et de 147 g de MAD/kg. Le tourteau d'arachide permettrait un apport facile en MAD, mais serait insuffisant en UFL. Un premier choix peut porter sur un complément fait de tourteau d'arachide (TA) et de son fort de riz (SFR) industriel. La lecture des teneurs en UFL et MAD dans les tables des aliments permet de poser les équations suivantes :

$$1,11 X (TA) + 0,58 Y (SFR) = 2,9 \text{ UFL}$$

$$467 X (TA) + 40 Y (SFR) = 427 \text{ g MAD}$$

Les calculs aboutissent à la distribution de 0,58 kg de tourteau et de 3,9 kg de son fort de riz, soit un total de 4,5 kg de MS. Cette matière sèche ajoutée aux 4,5 kg de paille ferait un total de 9 kg de MS pour la ration avec une concentration énergétique de 0,58 UFL/kg. Cette quantité de MS serait excessive pour la vache et en conséquence non consommée en totalité (tableau 5). Il faut donc rechercher la formulation d'un autre complément.

Le choix peut se porter alors sur le tourteau d'arachide (TA) et la farine basse de riz (FBR). Les équations deviennent alors :

$$1,11 X (TA) + 1,10 Y (FBR) = 2,9 \text{ UFL}$$

$$467 X (TA) + 99 Y (FBR) = 427 \text{ g MAD}$$

La résolution de ces deux équations aboutit à la distribution de 0,46 kg de tourteau d'arachide et de 2,15 kg de farine basse de riz, soit 2,61 kg de MS. Avec la paille de riz consommée, la MS totale ingérée est de 7,1 kg, ce que l'animal peut consommer.

Les compléments minéraux nécessaires

Suite à ces calculs, il faut établir un bilan des apports des aliments en minéraux (cf. tableau 7).

Tableau 7. Bilan des apports des aliments en minéraux

	Calcium	Phosphore
4,5 kg de paille de riz	11,25 g	5 g
0,46 kg de TA	0,46 g	3 g
2,61 kg de FBR	2,35 g	42 g
Total	14,06 g	49 g

Ce total doit être comparé aux besoins qui sont de 33,1 g de calcium et de 19,5 g de phosphore. Ce dernier est largement excédentaire alors que le calcium est insuffisant. Il sera nécessaire d'apporter un complément minéral, à la vache, par exemple sous forme de poudre de coquillage à raison de 100 g par jour. Du sel devra être distribué également : 50 g/jour.

Les quantités à fournir aux animaux

Le calcul des aliments bruts à distribuer constitue la dernière étape. Pour l'exemple développé précédemment, la quantité de tourteau à distribuer est de 0,5 kg, et pour la farine basse de riz de 2,86 kg arrondis à 3 kg. Pour le fourrage, la vache est placée sur la parcelle où elle en consomme à volonté.

En conclusion, la qualité d'une ration se juge sur les résultats zootechniques. Si elle est adaptée et correspond aux besoins, l'animal assure sa production et garde un état constant. Si ce n'est pas le cas, il perd ou gagne de l'embonpoint. Il est essentiel de suivre l'état et les productions des animaux pour porter un jugement sur une ration.

● La complémentation de vaches en élevage extensif traditionnel

Les parcours sont caractérisés par de fortes variations saisonnières de la valeur alimentaire des ressources herbacées et ligneuses. L'alimentation doit être raisonnée en fonction de la saison, des compléments disponibles et des objectifs de l'éleveur, à court et long terme.

Analysons le cas d'une vache zébu de 250 kg, ayant mis bas en milieu de saison des pluies. Après deux mois de saison sèche, soit 3,5 mois de lactation, l'éleveur souhaite maintenir la production de lait à un niveau de 2 kg durant 2 mois. Il faut également que la vache conserve un bon état pour assurer la fécondation suivante.

Les besoins de l'animal pour maintenir son poids vif et assurer la production de lait sont de 4,5 UFL et 393 g de MAD.

Le calcul des apports de la ration de base

Sur parcours naturel sahélo-soudanien à dominance de graminées annuelles, la valeur nutritive du fourrage ingéré est estimée par celle figurant dans les tables pour le milieu de saison sèche, soit 0,50 UFL et 3 g de MAD par kg de MS. La consommation de matière sèche peut être estimée à 5 kg par jour en tenant compte de l'ingestibilité du fourrage. La vache ingère donc environ 2,5 UFL et 15 g de MAD. Le déficit par rapport aux besoins est de 2 UFL et 378 g de MAD. Les aliments disponibles sont le tourteau de coton expeller (TC) et du son gros de blé (SGB).

$$0,94 TC + 0,82 SGB = 2 UFL$$

$$380 TC + 117 SGB = 378 MAD$$

La résolution des deux équations donne le résultat suivant : 0,38 kg de tourteau de coton et 2 kg de son gros de blé, soit en poids brut 0,41 kg de tourteau et 2,3 kg de son. Sur le plan de la consommation de matière sèche, cet apport de 2,4 kg peut être consommé sans modifier l'ingestion de fourrage, dont la digestibilité est même améliorée par l'apport des matières azotées du complément.

● Le cas d'une vache en stabulation en élevage périurbain

En zone périurbaine, l'approvisionnement en fourrage pose problème. Il peut être résolu en utilisant des résidus ou des sous-produits faciles à se procurer, comme les coques d'arachide ou les coques de graine de coton là où existe une usine de traitement de ces oléagineux.

Prenons le cas d'une petite exploitation avec deux ou trois vaches métis zébu d'un poids vif de 400 kg, maintenues en stabulation libre. Le rationnement vise la production de 10 kg de lait à 5 % de MG par vache.

Les besoins d'une vache : 9,2 UFL et 895 g de MAD

La consommation de matière sèche : entre 8 et 12 kg

Les aliments disponibles : coques de graine de coton, tourteau de coton expeller (TC), mélasse (M), drêches de brasserie (DB). Avec ces aliments, la ration de base peut être constituée de 3,5 kg de coques de graine de coton qui ont pour rôle principal de constituer du lest et de 2,5 kg de drêches.

Les apports de la ration de base : 3,7 UFL et 608 g de MAD. Les déficits sont de 5,5 UFL et 287 g de MAD.

Le calcul du complément

$$0,94 TC + 0,91 M = 5,5 UFL$$

$$380 TC + 14 M = 287 g MAD$$

Les résultats sont 0,55 kg de tourteau et 5,5 kg de mélasse. Le total de la matière sèche de cette ration est de 12 kg, quantité qui peut être consommée par la vache. Toutefois, cette ration n'est pas à conseiller, car la proportion de mélasse est trop importante, ce qui peut entraîner des problèmes digestifs. Il faut réduire la part de la mélasse et augmenter la part du lest ou apporter un fourrage.

C'est ce dernier point qu'il faut conseiller à l'éleveur : acheter de la paille de riz, de la fane d'arachide ou un autre fourrage et le distribuer à raison de 2 kg par vache, mélangé ou pas à la mélasse. Les calculs sont donc à reprendre après avoir fixé la quantité de fourrage.

Minéraux : les besoins sont de 61,4 g de calcium et de 35,7 g phosphore. Pour les aliments cités dans cet exemple, les teneurs en calcium sont faibles. La drêche et le tourteau ont de bonnes teneurs en phosphore, mais pas les autres sous-produits. Après avoir choisi le fourrage, il faut trouver un complément minéral qui apporte du calcium et du phosphore ; une farine d'os peut par exemple être utilisée.

● **Une unité laitière avec des vaches importées fortes productrices**

Nous considérerons une exploitation ayant importé des vaches à haut niveau de production. Les calculs portent sur une vache de 600 kg produisant 30 kg de lait à 4 % de matières grasses. Ils utilisent le système PDI.

Les besoins : 18,2 UFL, 1 835 g de PDI (PDI/UFL = 101 g), 140 g de calcium, 75 g de phosphore.

La quantité de matière sèche ingérée : 20,1 kg.

L'inventaire des aliments

Un inventaire doit être réalisé, mais pour ce type de production, il faut souvent aller chercher des aliments non disponibles localement. L'exploitation fournit les fourrages, par exemple du *Panicum maximum* exploité au stade repousse 4-6 semaines et du niébé au stade floraison. Les sous-produits disponibles localement sont le tourteau d'arachide, les drêches de brasserie, le son fin de blé, la mélasse.

Le calcul de la ration de base

Pour ce type d'exploitation, la ration de base doit chercher à assurer la production équilibrée d'une certaine quantité de lait : cela permet de calculer ensuite un complément de production qui est distribué selon le niveau de production de chaque vache. La ration de base doit donc être calculée de façon précise.

Considérons en première approche une ration de base couvrant 8 kg de lait (8,5 UFL, 755 g PDI) avec la distribution de 7 kg de *Panicum* et 2 kg de niébé : apports de 6,1 UFL, 415 g PDI_N, 406 g de PDI_E. Le déficit est de 2,4 UFL, 340 g PDI_N, 349 g PDI_E. Le calcul au niveau des PDI doit être fait pour la catégorie de PDI la plus déficitaire, en l'occurrence les PDI_N ; toutefois, dans le cas présent, cette différence est faible.

Le déficit permet de calculer la valeur moyenne du complément : il doit avoir une teneur proche de 142 g de PDI_N ou PDI_E/UFL. Parmi les aliments disponibles, la lecture des tables montre que les drêches et le son sont plus riches en PDI_N qu'en PDI_E, la mélasse en PDI_E qu'en PDI_N. Pour les drêches et la mélasse, les calculs sont les suivants :

$$223 DB + 32 M = 340 PDI_N$$

$$189 DB + 68 M = 349 PDI_E$$

Ceci conduit à recommander l'incorporation de 1,3 kg de drêches et 1,6 kg de mélasse pour un équilibre azoté. L'apport en énergie de 2,7 UFL est très légèrement supérieur au déficit (2,4), ce qui est peu important.

La ration de base couvrant 8 kg de lait est donc de 7 kg MS de *Panicum*, 2 kg MS de niébé, 1,6 kg MS de mélasse, 1,3 kg MS de drêche, soit 11,9 kg de MS.

Le calcul du complément

Il reste à couvrir 22 kg de lait avec un concentré équilibré, soit un apport de 9,7 UFL, 1 080 g PDI et normalement un reliquat de 8,2 kg de MS consommable. Ceci conduit à une concentration du kg de MS de 1,18 UFL et 132 g PDI. La concentration énergétique visée ne sera possible à obtenir qu'avec l'incorporation d'une céréale et la recherche d'un aliment non inventorié dans un premier temps. Le choix se portera sur le maïs (Ma), complété par le tourteau d'arachide (TA). Le calcul se fait par kg de concentré :

$$345 TA + 82 Ma = 132 PDI_N$$

$$192 TA + 120 Ma = 132 PDI_E$$

soit 0,2 kg de tourteau et 0,8 kg de maïs (toujours sur la base de la MS).

Le bilan en énergie est de 1,24 UFL soit un léger excès. Le maïs peut être remplacé par le sorgho, moins riche en énergie :

$$345 TA + 91 S = 132 PDI_N$$

$$192 TA + 117 S = 132 PDI_E$$

La proportion du mélange est de 15 % de tourteau et 85 % de sorgho. L'énergie contenue est de 1,17 UFL/kg MS.

Le choix entre le maïs et le sorgho est alors principalement d'ordre économique.

Le calcul des apports en minéraux

Tableau 8. Calcul des apports en minéraux (en g)

	Ration de base: entretien plus 8 l lait		Complément (avec sorgho) : 22 l lait	
	Apports	Besoins	Apports	Besoins
Calcium	69,2	63	3,3	77
Phosphore	21,6	38	33	37

Conclusion: la ration de base est déficitaire en phosphore ; elle devra être complétée par un phosphate ne contenant pas de calcium, comme par exemple du phosphate disodique ou dipotassique. Le complément est au contraire déficitaire en calcium. Il faut choisir un carbonate ou de la poudre de coquillage légèrement complété par un phosphate tricalcique (éventuellement de la farine d'os calciné).

La ration de base est déficitaire en phosphore ; elle doit être complétée par un phosphate ne contenant pas de calcium, comme par exemple du phosphate disodique ou dipotassique.

Le complément est au contraire déficitaire en calcium. Il faut choisir un carbonate ou de la poudre de coquillage légèrement complété par un phosphate tricalcique (éventuellement de la farine d'os calciné).

LA REPRODUCTION

● La vie sexuelle des femelles

● Le type sexuel des femelles

Selon l'espèce et la race (pays tempéré ou zone tropicale), l'activité sexuelle des femelles est continue (pendant toute l'année) ou saisonnière : il s'agit du *type sexuel*. L'ovulation est spontanée (brebis, vache) ou provoquée (dromadaire).

Le tableau 9 résume les principales caractéristiques de la vie sexuelle des femelles de différentes espèces de races tropicales et tempérées : type sexuel, durée du cycle sexuel, durée de gestation, etc.

● Le cycle œstral

Le tableau 9 indique la durée moyenne du cycle œstral normal. Des cycles anormaux plus longs (corps jaune persistant par exemple) ou plus courts (nympomanie, etc.) peuvent se produire.

Les problèmes de reproduction se posent avec acuité pour *les races importées* : les races bovines laitières introduites dans les pays tropicaux souffrent pendant les périodes chaudes, surtout si l'hygrométrie est élevée et si elles sont en lactation. Elles souffrent aussi de pathologies et des variations de disponibilité des aliments. La maturité sexuelle en est retardée. Un raccourcissement de la durée de l'œstrus, une augmentation des œstrus sans ovulation, un allongement du cycle œstral, une modification du taux de progestérone dans le sang sont souvent constatés en périodes chaudes. Le taux de mortalité embryonnaire précoce est plus élevé. Tout cela aboutit à une fertilité réduite chez les animaux importés.

La période la plus critique d'exposition à la chaleur est le moment de l'insémination et les jours qui suivent l'ovulation. La période de mise en reproduction optimale correspond aux périodes fraîches de l'année.

Les races bovines à viande sont moins affectées par la chaleur. Elles maintiennent leurs performances de reproduction si le climat n'est pas trop contraignant. Les races caprines européennes importées en régions chaudes se reproduisent moins bien qu'en Europe. Elles continuent à être saisonnées et présentent une période d'anœstrus et d'anovulation : la saison sexuelle est plus longue de 18 à 49 jours, la dissociation entre œstrus et ovulation est plus grande, la proportion de cycles courts est plus grande, le taux d'ovulation est moins élevé qu'en Europe. Les chèvres croisées restent en partie saisonnées.

Tableau 9. Résumé des caractéristiques de la vie sexuelle des femelles selon les espèces et races

Espèces et races	Type sexuel	Epoque de saillies	Durée du cycle oestral (j)	Durée de l'œstrus (h)	Durée de gestation (j)	Involution utérine normale (j)
Vache						
Pays tempéré	continu	toute l'année	21 (20-23)	18	9,5 mois environ (240-320) 276 à 290 (selon race)	30 (21-40)
N'Dama	continu	début SS surtout	21 ± 1,5	9 à 12	282 à 288	
Baoulé	continu	début SS surtout	21 ± 2	10 à 11	283 ± 9	31 ± 11
Zébu	continu	début SS surtout	22 ± 1,5	10 à 13	285 à 288	
Brebis						
Pays tempéré	saisonnier	automne/printemps	17 (14-19)	30 à 36 (24-53)	146 (140-157)	17-30
Djallonké	continu	début SP surtout	17 (14-19)	41 (1-3 j)	5 mois	
Chèvre						
Alpine	saisonnier	automne	21 (16-25)	31 (2-3 j)	145 (145-157)	36
Barbarine	continu	début SP surtout		33	5 mois	
Truie						
	continu	toute l'année (2,2-2,4 cycles/an : 150 j/cycle)	21	60 (2,5 j)	114 (109-121) 3 mois 3 sem. 3 j	15-25
Jument						
Pays tempéré	saisonnier	avril-octobre	20 à 21 (15-33)	6 j (2-10 j)	11 mois (310-340 j)	13-15
Hémisphère sud	saisonnier	milieu SP (août-déc.)				
Anesse						
Pays tempéré	saisonnier	mars-septembre	21	3-5 j	375 (350-405 j)	
Dromadaire						
	saisonnier, ovulation provoquée	hiver en zone méditer., SP en zone intertrop., nov. à mai en Inde	24 (11-35)	4 j (3-7 j)	12-13 mois (370-390 j)	38-42
Lapine						
	continu, ovulation provoquée	toute l'année	16	—	30 (24-36) (1 mois)	
SS = saison sèche.	110-130 = écart des valeurs.		zone méditer. = zone méditerranéenne.			
SP = saison des pluies.	30 à 36 = écart des moyennes.		zone intertrop. = zone intertropicale.			

● L'oestrus

En pays tempéré, la durée moyenne de l'oestrus est de 18-19 h chez la vache et de 14 h chez la génisse. En pays tropicaux, cette durée est plus courte. Ainsi, chez les taurins N'Dama et Baoulé, les chaleurs durent en moyenne 9 à 12 h. Elles ne sont pas toujours très nettes et sont parfois entrecoupées. Chez ces races, les signes anatomiques (utérus ferme à la palpation et oedème de la vulve) sont inconstants et sont détectés respectivement sur moins de 20 % et de 50 % des chaleurs. Néanmoins des essais ont montré en Côte d'Ivoire qu'en observant le comportement pendant une demi heure, deux fois par jour à 7 h et à 15 h, il est possible de détecter des chaleurs deux fois sur trois.

Tableau 10. Résumé des performances moyennes de reproduction des femelles selon les espèces et races

Espèces et races	Puberté femelle (mois)	Première mise bas (mois)	Intervalle entre mises bas (mois)	Fertilité (%)	Proliféricité petits/portée)	Retour des chaleurs après mise bas (j)
Vache						
Pays tempéré	6-12			80-90	1,03	40-56 (race lait ou viande)
N'Dama	12 à 33 (60 % PAd)	22,5 à 55	12 à 25	50 à 85		34-140
Baoulé	14 à 26 (57-64% PAd)	25,5 à 42,5	14 à 18,6			41-101,5
Zébu	19 à 26	43 à 45	36 à 85,5			107
Brebis						
Pays tempéré	6-8 (60-65 % PAd)				1-3 ou 1,5-2,5	40-60 (+ effet mâle)
Djallonké	6-8	11,5-19,5	8 (7-11)			40 à 85
Chèvre						
Alpine	6-10	11-15			1-3 ou 1,5-2,5	
Djallonké	8-10	14,5-17,5	6-8		souvent 2 voire + (+ effet mâle)	
Créole (Guadeloupe)	8-14	17,2 ± 3,1	8,5	82-95	1,75 à 2,1	
Truie						
	6 (4-10) attendre 8-9	10,5-12	5-5,5	80-90	10,7-11,3	30-60 (dont lactation 3-4 semaines)
Jument						
Pays tempéré	12-24			64-85		
Anesse						
Pays tempéré	2-3 ans	4,5 ans (4-5 ans)		43		12 à 15 (2-22)
Anesse africaine	18 (1-2 ans)		2 ans environ		avort. fréquent si jumeaux	
Dromadaire						
	2 à 4 ans	3,5 à 7 ans	2 ans (15-36 mois)	30 à 47	1,01 à 1,04	1 à 10 mois
Lapine						
	4 à 6 (3-8)	4-9	2-3 (50-90 j)		7 à 8 (3-10)	10
110-130 = écart des valeurs	30 à 36 = écart des moyennes		PAd = Poids adulte		avort. = avortement	

Tableau 11. Résumé des principales caractéristiques de reproduction des mâles selon les espèces et races

Espèces et races	Puberté mâle (mois)	Volume du sperme (ml)	Spz mobiles (%)	Concentration du sperme (1.000 spz/mm ³)	Nombre de spz totaux (10 ⁹) par éjaculat	Nombre de femelles par mâle
Taureau						
Pays tempéré	11-12	5 (2-10)	70 à 80	1 200 (700-2 500)	7 (lait) 4 (viande)	30-50
N'Dama		4	51,5	930		
Baoulé	17,5 (61 % PAd)	2,4 (2-3)	80	1 000		
Zébu	20-22	3,4	80	1 800		
Buffle						
		4	60		4	
Bélier						
Pays tempéré	5-7 ou 12-15 selon la sais. de naissance	1 (0,5-2)	75	3 000 (2 000-5 000)	3	70-80
Djallonké	5,8 ± 1					
Bouc						
Alpine	5-10 (40-50 % PAd)	1 (0,5-2,5)	80	3 000 (1 000-5 000)	2-3	70-80
Boer		1,34	88	2 700	3,6	
Verrat						
	8 (4-10)	300 (150-500)	60	300 (25-350)	45	30-40
Étalon						
Pays tempéré	12-18	50 à 100 (20-300)	70-80	150 (30-800)	8,4 à 9	50-80
Ane						
Pays tempéré	3 ans	45 (10-130)	75	200 (50-400)	8 à 10 (3-20)	70-80
Dromadaire						
	4-5 ans	7,7 à 8,5 (4-12)	55 à 80 (40-80)	500 (140-760)	4	70
Lapin						
	6 (3-8)	0,6 (0,5-6)	80	50-350	0,03	10

110-130 = écart des valeurs.
30 à 36 = écart des moyennes.

spz = spermatozoïde.
sais. = saison.

Pad = Poids adulte.

● La gestation

Chez la vache, la durée moyenne de gestation varie légèrement selon la race. En pays tempérés, elle est de 276 à 290 j ; elle est par exemple de 279 j en race Jersey et de 290 j en race Charolaise. Chez les zébus, cette durée varie entre 260 et 310 jours ; la moyenne avoisine les 280-290 jours.

En dessous de la durée moyenne de gestation, on parle de *mise bas prématurée*. Chez la vache, à moins de 240 jours de gestation, le fœtus n'est en général pas viable et il y a *avortement*. Avant 42 j de gestation, on parle de *mortalité embryonnaire*.

Chez la vache, le diagnostic de gestation est basé sur la cessation des chaleurs, sur la palpation transrectale, sur le dosage de la progestérone dans le sang ou dans le lait prélevé 21 à 24 jours après le service (saillie naturelle ou insémination artificielle), sur le dosage de la PSPB (*Pregnancy specific protein B*) ou de la PSG 60 (Protéine sérique de gestation) plus de 70 jours après le vêlage ou enfin sur un examen échographique.

Chez la chèvre, le prélèvement de sang ou de lait est réalisé le 21^{ème} ou 22^{ème} jour après le service pour doser la progestérone. Chez la brebis, il est pratiqué entre le 17^{ème} et le 20^{ème} jour. Chez la chèvre, le sulfate d'oestrone peut être dosé dans le sang, le lait ou l'urine après le 60^{ème} jour de préférence.

● **Les performances de reproduction des femelles⁴**

● **La puberté des femelles**

La puberté est le moment où apparaissent les premières chaleurs. C'est un caractère important au point de vue économique. Mais il n'est pas conseillé de mettre à la reproduction les femelles dès leurs premières chaleurs. La fertilité est moins bonne que plus tard : premières chaleurs et premières ovulations ne sont pas bien synchronisées. La croissance n'est pas encore terminée et s'en trouve pénalisée.

Pour chaque espèce et même pour chaque race, un moment optimum de mise à la reproduction peut être établi : *la nubilité*. Comme pour la puberté, ce moment est lié non seulement à l'âge de l'animal, mais surtout à son poids, en considérant le pourcentage du poids de l'animal par rapport au poids moyen des adultes.

En France, les génisses sont mises à la reproduction vers 15-24 mois lorsqu'elles ont atteint les deux tiers du poids adulte. Les races tropicales sont, en général, plus tardives et il est également conseillé de ne pas les mettre à la reproduction avant qu'elles atteignent les deux tiers du poids adulte. Les femelles croisées avec des taurins européens ont une croissance plus rapide et une puberté plus précoce. Les races européennes en zone tropicale ont une puberté retardée car leur croissance est faible. Agnelles et chevrettes atteignent la puberté vers six mois à 40-60 % de leur poids adulte et peuvent être mises à la reproduction vers 50-60 % de leur poids adulte.

● **La fertilité**

Le taux de femelles gravides varie beaucoup selon les conditions d'élevage pour une même race. Dans des conditions extensives d'élevage, ce taux n'est souvent que de l'ordre de 50 % pour les races bovines tropicales ; il peut s'améliorer fortement avec l'amélioration de l'alimentation (voir ci-dessous). Ainsi, en race Baoulé, la fertilité est proche de 40-50 % en milieu villageois et de 85 % en élevage amélioré en ranch ou en station en Côte d'Ivoire.

● **La prolificité**

Chez les bovins, l'obtention de jumeaux est assez rare (environ 2 %). En général, ceux-ci ne sont d'ailleurs pas souhaitables, car ils compliquent la gestion de l'élevage et peuvent nécessiter l'adoption d'un des jumeaux par une autre mère. Lorsque les deux jumeaux sont de sexes différents, la femelle est presque toujours stérile.

Chez les ovins et les caprins, la prolificité (nombre de produits par mise bas), très variable selon les races, peut être beaucoup plus élevée que chez les bovins. Les brebis africaines ont souvent une prolificité assez faible (1,2 à 1,5), celle des chèvres est souvent supérieure (1,5 à 2).

⁴ Cf tableau 10.

● **Le mâle et la reproduction⁵**

● **La puberté**

En milieu tropical, la puberté est souvent tardive chez les races locales. Pour cette raison, comme chez la femelle, il est important de considérer non seulement l'âge, mais aussi le poids à la puberté pour éviter de solliciter des reproducteurs trop légers et immatures.

Chez les bovins de pays tempérés introduits en pays chauds, la puberté est retardée et la spermatogenèse est affectée. La croissance des bovins européens est ralentie à une température supérieure à 24 °C. La chaleur sèche est mieux supportée que la chaleur humide.

En race taurine Baoulé, au Burkina, la puberté mâle apparaît en moyenne à 17,5 mois à un poids moyen de 155 kg, soit 61 % du poids adulte. Chez les taurins créoles et les zébus, elle est un peu plus tardive : 20 à 22 mois en moyenne.

● **Le sperme**

Il n'existe aucun rapport entre l'intensité de la libido (ardeur sexuelle) et la qualité du sperme. Les caractéristiques du sperme (spermogramme) des taureaux sont soit comparables, soit inférieures en termes de volume et donc aussi de nombre de spermatozoïdes totaux chez les races locales en pays tropicaux par rapport aux taureaux en pays tempérés.

Chez les bovins de pays tempérés introduits en pays chauds, la motilité du sperme chute, puis le nombre de spermatozoïdes (volume et concentration). Mais l'effet dépressif dû au climat est moins prononcé que chez les femelles. La sensibilité à la chaleur varie d'un taureau à l'autre. Les fils de taureaux résistants se comportent mieux que les autres.

● **Le nombre de femelles par mâles**

Dans les grands élevages, pour assurer une bonne reproduction, il est important d'adapter l'effectif des femelles à celui des mâles disponibles. Le nombre de femelles pouvant classiquement être mises avec un seul mâle en période de monte est indiqué dans le tableau 11.

● **La variation de la fertilité chez la vache laitière**

La fertilité est un élément essentiel de la productivité numérique des élevages de ruminants. Elle dépend de nombreux facteurs et est souvent assez faible en régions chaudes. Les principaux facteurs de variation de la fertilité sont rappelés ci-dessous. L'éleveur peut intervenir facilement sur certains facteurs (alimentation, santé), plus difficilement sur d'autres (caractères raciaux, climat).

⁵ Cf tableau 11.

● Les caractéristiques individuelles des femelles

La fertilité dépend de la race, de l'âge (la fertilité des génisses est en général supérieure à celle des vaches), de la croissance des génisses, du temps écoulé depuis le dernier vêlage (ne pas inséminer trop tôt après le vêlage), de facteurs génétiques. On peut intervenir sur ces caractéristiques par sélection ou plus rapidement par croisement. Dans tous les cas, il s'agit d'un processus pluriannuel d'amélioration à moyen terme.

● L'alimentation

La fertilité dépend surtout de l'état corporel et du niveau d'alimentation des reproducteurs. Les carences doivent être évitées (vitamines A et E, sélénium). La fertilité dépend de l'exécution d'un *flushing* (alimentation plus poussée avant et après le service), de la note d'état corporel⁶, de l'évolution du poids au moment du service (un poids en augmentation est favorable).

Il est donc possible d'intervenir à court terme sur l'amélioration de l'alimentation pour agir sur la fertilité du troupeau.

● Le climat et la saison

La fertilité dépend du climat et de la saison, de la température ambiante au moment de l'insémination et du début de la gestation (elle ne doit pas être trop élevée) et de la luminosité des locaux. Le climat agit de façon directe et aussi indirecte par le biais des variations du disponible alimentaire et des pratiques d'élevage.

● Les pathologies

La fertilité dépend des maladies ou des affections de la vache⁷, du taureau⁸, du troupeau⁹, et de l'hygiène de l'exploitation¹⁰.

● L'insémination artificielle

Lorsqu'on utilise l'insémination artificielle (IA), la fertilité des femelles inséminées peut dépendre aussi de l'insémineur ; en régions chaudes il faut en particulier veiller à éviter les rayons de soleil sur la semence et les chocs thermiques, ne jamais être brutal, déposer la semence en avant du col de l'utérus de la femelle, etc. La fertilité dépend aussi du moment de l'insémination par rapport au début des chaleurs ou du type de traitement de maîtrise des chaleurs si l'insémination a lieu à heure fixe, de la technique utilisée (semence fraîche ou congelée), du taureau (certains taureaux ont des semences meilleures que d'autres) et de sa race (la fertilité est meilleure si le taureau est de race différente de la vache). Ces problèmes et notamment la détection précise des chaleurs sont plus difficiles à maîtriser en régions chaudes.

6 À la Réunion, l'insémination première a trois fois plus de chances de réussir lorsque le gain d'état corporel augmente de 1 point dans le mois qui encadre l'insémination.

7 Anœstrus, métrites, kystes ovariens folliculaires ou lutéaux, sclérose de l'ovaire, hypogonadisme gonadique, anomalies chromosomiques, troubles locomoteurs, mammites, dystocies et suites de vêlage par exemple.

8 Hypogonadisme, orchite, épépidymite.

9 Maladies abortives, maladies contagieuses telles que la brucellose, etc.

10 Isolement des vaches avant, pendant et après la mise bas, etc.

LE LOGEMENT DES RUMINANTS

Le logement des ruminants dans une étable, même modeste, est en général bénéfique pour leurs productions. L'étable doit être simple, hygiénique et peu coûteuse. L'emplacement, proche d'une voie de communication, doit être aussi plat que possible, sur un sol résistant et sans boue au niveau des parcours. Le bâtiment, bien ventilé mais sans courant d'air, est souvent orienté est-ouest. Les abreuvoirs sont placés à l'ombre.

Les matériaux, au bon pouvoir isolant, sont de préférence ceux disponibles sur place. Les murs peuvent être en torchis (argile mélangée à de la paille), avec ou sans ciment, en pierre, en ciment, en bois ou en paille tressée. Les charpentes sont en fer ou en bois.

Des clôtures délimitent la partie centrale de l'exploitation et les pâturages. Pour les bovins, cinq rangées de fils de fer non barbelés commençant à 15 cm du sol et s'élevant jusqu'à 35-40 cm du haut des poteaux conviennent. Les haies vives demandent du travail et sont moins efficaces.

En élevage transhumant, les constructions sont très réduites. L'eau doit être disponible à proximité. En élevage sédentaire, la stabulation peut être libre ou entravée, solution souvent choisie pour moins de vingt vaches, mais qui peut augmenter la pathologie des membres.

En stabulation entravée, les animaux sont attachés et rangés sur un ou deux rangs dans l'étable aux ouvertures larges. L'étable comprend un couloir d'alimentation, des stalles, des mangeoires, des cornadis, des abreuvoirs, des rigoles et une fosse à purin. Chaque bovin est placé sur une stalle de 1,1 m de large et d'une longueur variable : 2,5 m, 2 m ou 1,6 m. Le sol, résistant et imperméable, doit être légèrement en pente : 1,5 à 2 cm/m. La stabulation libre, avec des bâtiments ouverts, est plus économique. Elle permet de réduire la main-d'œuvre, mais exige de la paille. Chaque vache dispose d'au moins 10 m².

Des annexes sont incluses dans l'étable ou construites à part : locaux de conservation du foin ou de l'ensilage, local de conservation de l'aliment concentré, local de préparation des compléments alimentaires, étable fumière, laiterie et éventuellement salle de traite. La traite mécanisée est possible si l'énergie électrique est disponible, ainsi que des pièces détachées et des produits d'entretien. Elle est économiquement envisageable en élevage périurbain ou industriel.

Pour les petits ruminants, un parc clôturé et un abri peuvent suffire.

L'entretien des locaux est important. Les locaux doivent être nettoyés puis désinfectés régulièrement. Les déjections des animaux sont stockées pour produire du fumier, qui est utilisé par l'éleveur-agriculteur ou vendu. Il peut aussi être transformé en biogaz (méthane), apportant une énergie bon marché, ou en compost. Certains agriculteurs ont des vaches principalement pour fertiliser leurs champs.

Bibliographie

Diversité génétique et performances

- AUDIOT, 1995. *Races d'hier pour l'élevage de demain*. INRA, 226 p.
- FAO, 1993. *World watch list for domestic animal diversity*. Rome, FAO. 376 p.
- GAUTIER A., 1990. *La domestication. Et l'homme créa l'animal*. Ed. Errance, 281 p.

Alimentation

- GUÉRIN H., FRIOT D., MBAYE N., RICHARD D., 1991. *Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens. Etude méthodologique dans la région du Ferlo au Sénégal*. - 2. ed..Maisons-Alfort, France, CIRAD-LEMVT, n. 39, 115 p. Etudes et synthèses de l'LEMVT.
- GUÉRIN H., 1999. *Valeur alimentaire des fourrages cultivés*. In : Roberge G. (ed.), Toutain B. (ed.), Cultures fourragères tropicales. Montpellier, France, CIRAD, p. 93-145. Repères.
- RICHARD D., GUÉRIN H., FALL S.T., 1989. - *Feeds of the dry tropics (Sénégal)* - Chapter 16 In : Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables.. JARRIGE R. éd. Paris - INRA, London - John LIBBEY Eurotext, p.325-346.
- XANDÉ A., GARCIA-TRUJILLO R., CACERES O. 1989 - *Feeds of the humid tropics* - Chapter 17 In Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables. JARRIGE R. éd. Paris - INRA, London – John LIBBEY Eurotext, p. 347-364

Reproduction

- INRA, 1984. *Reproduction des ruminants en zone tropicale. Réunion internationale. Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, 8-10 juin 1983*. Paris, INRA, 520 p. (Les colloques de l'INRA n° 20).
- LHOSTE PH., DOLLÉ V., ROUSSEAU J. et SOLTNER D., 1993. *Zootecnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage*. Paris, Ministère de la Coopération, CIRAD. Collection Manuels et précis d'élevage, 288p.
- SOLTNER D., 1993. *La reproduction des animaux d'élevage*. Collection Sciences et techniques agricoles, 2e édition, 232 p.
- THIBAUT C. et LEVASSEUR M.-C. (Coord.), 1991. *La reproduction chez les mammifères et l'homme*. Paris, INRA, 768 p.
- TILLARD E., LANOT F., BIGOT C.E., NABENEZA S., PELOT J., 2000. *Performances zootecniques et sanitaires. Les performances de reproduction en élevage laitier*. In : BLANFORT V. HASSOUN P., MANDRET G. PAILLAT J.M., TILLARD E., ed CIRAD/INRA/Région Réunion, CAH : 527-292.

Logement

- LOBRY M., VANDENBUSSCHE J., PONTUS B., PELLETIER M., 1977. *Manuel de construction des bâtiments pour l'élevage en zone tropicale*. Paris, ministère de la Coopération ; Maisons-Alfort, LEMVT, coll. Manuels et précis d'élevage, 3, 218 p.

L'élevage bovin

À partir des contributions de P. Lecomte (CIRAD),
P. Lhoste (CIRAD), C. Meyer (CIRAD) et E. Vall (CIRAD)

Dans de nombreux pays tropicaux, les ruminants représentent une composante majeure des systèmes agricoles. Le bétail ruminant occupe un rôle de fournisseur polyvalent d'aliments nobles, de fibres, de traction pour le transport et la culture attelée, de matières organiques susceptibles d'améliorer les sols. Le bétail représente une forme de capitalisation pour les propriétaires, il permet également la constitution de revenus monétaires réguliers par la vente de produits, comme la viande, le lait, la laine, les peaux ou l'engrais. Bien que l'importance relative de ces fonctions varie selon les régions et les systèmes, la fonction de pourvoyeur d'alimentation est universelle.

L'ÉLEVAGE BOVIN LAITIER

Dans les pays chauds, la production et la consommation de lait sont anciennes ; il constitue la base de l'alimentation de nombreuses sociétés pastorales. De plus, les dynamiques actuelles¹ se traduisent par un essor sans précédent de la production et de la commercialisation du lait. Dans ce contexte, l'élevage laitier prend une importance particulière.

La production laitière est un système biologiquement très efficace. Elle est susceptible de convertir de grandes quantités d'aliments grossiers en un produit de qualité universellement reconnue. De plus, en termes de fourniture de nutriments et de protéines pour la consommation humaine à partir d'une surface ou d'une quantité d'aliments donnée, la production laitière est nettement plus efficace que l'élevage du bœuf ou du mouton à viande. C'est particulièrement vrai là où les marchés sont directement accessibles : l'élevage laitier constitue alors une source régulière de revenu pour les producteurs.

Pour améliorer la production laitière des systèmes traditionnels, il faut agir sur les différents facteurs de production², et sur la gestion de la filière, de la production à la consommation des produits laitiers. Il est possible de distinguer plusieurs niveaux d'intensification dans les systèmes d'élevage :

- > *les systèmes pastoraux* (sylvo-pastoraux ou agro-pastoraux sur parcours) ;
- > *les systèmes mixtes* (agriculture-élevage, systèmes herbagers pâturés) ;
- > *les systèmes intensifiés* (périurbain, hors-sol).

1 Urbanisation induisant la nécessité d'un approvisionnement régulier des centres urbains en protéines animales, amélioration du niveau de vie, modification des comportements alimentaires, intégration économique des filières animales.

2 Aliments du bétail, santé animale, potentiel génétique des vaches.

Systèmes d'élevage en Ouganda

Dans le district de Mbarara, à plus de 1 200 m d'altitude, la typologie permet de distinguer cinq types de systèmes d'élevage (éleveurs traditionnels, ranchers, système agro-pastoral, système d'élevage épargne-lait et système lait «intensif») que l'on peut regrouper en trois grands types :

- les pastoralistes, utilisant surtout des bovins Ankolé (race bovine locale), parfois quelques animaux croisés, sur pâturage en système extensif, avec transhumance ;
- les mixtes, sédentaires en zone agro-pastorale ou agricole, utilisant plus de bovins Frisons et croisés, vendant aussi des produits agricoles ;
- les intensifiés, sédentaires, utilisant surtout des bovins Frisons et pratiquant l'insémination artificielle.

● Les types d'animaux utilisés pour la production laitière

Les races utilisées pour la production laitière sont très variées (cf tableau I). On peut remarquer en Afrique de l'Ouest, une logique de répartition des races locales du nord au sud (du Sahel à la côte) : depuis les zébus trypanosensibles, hauts sur pattes et adaptés à la chaleur et à la marche, à la race taurine lagunaire naine en passant par les taurins trypanotolérants, plus trapus que les zébus, menés en élevage sédentaire. Entre zébus et taurins, on trouve des croisements utilisés surtout pour la traction animale et produisant viande et lait (groupes Sangas et métis dans le tableau 1).

Tableau 1. Classification des bovins d'Afrique (d'après Maule, 1990)

Groupe	Principaux types d'animaux
Groupe I : zébus classiques	zébus d'Afrique de l'Ouest à cornes courtes ou moyennes (zébus sahéliens) zébus d'Afrique de l'Ouest à cornes en lyre ou longues (zébus peuls) zébus d'Afrique de l'Est à cornes courtes zébu de Madagascar autres zébus importés
Groupe II : sangas (à bosse cervico-thoracique, cornes longues ou géantes) et sangas x zébus en Afrique de l'Est et du Sud	
Groupe III : taurins (bovins sans bosse)	taurins d'Afrique de l'Ouest à cornes longues (N'Dama et Kouri) taurins d'Afrique de l'Ouest à cornes courtes – type de savane (Baoulé, Muturu, Somba, Bakosi) – type nain (Lagunaire, Bakweri, Namchi, Kapsiki) taurins d'Ethiopie à cornes courtes taurins d'Afrique du Nord à cornes courtes
Groupe IV : métis	zébu x taurin d'Afrique de l'Ouest zébu Malgache x taurin taurin exotique x zébu taurin exotique x taurin local
Groupe V: taurins exotiques purs	
Groupe VI: autres Bovidés (buffle domestique, oryx, éland et impala)	

● Les races bovines locales pures

Les races tropicales locales, utilisées dans les systèmes pastoraux, ont souvent une productivité faible, mais elles sont adaptées à leur milieu et leur effectif élevé permet d'obtenir une certaine quantité de lait au niveau d'un pays. Leur potentialité ne s'exprime bien que dans des conditions améliorées d'élevage : alimentation équilibrée, protection sanitaire, pratiques de conduite adaptées. Les zébus, les taurins et leurs croisements anciens appelés Sangas produisent entre 2 et 5 litres de lait par jour (cf. tableau 2). Leur lait est souvent riche en matières grasses. Certaines races tropicales sont réputées plus laitières que les autres. Le zébu Azawak (Niger, Mali, Burkina, Nigeria) peut produire 3,5 à 8 litres de lait par jour, ce qui reste modeste.

De plus, la fonction multi-usage de ces bovins conduit à une faible proportion de vaches en lactation dans les troupeaux. Ainsi, les troupeaux bovins nomades du delta intérieur du Niger au Mali ne comprennent pas plus de 16 % de vaches en lactation contre 50 à 60 % dans un troupeau laitier spécialisé en Europe.

● Les buffles

Le buffle domestique produit une quantité de lait assez faible, mais ce lait est très riche en matières grasses. Les races laitières sont d'origine indienne ou pakistanaise.

● Les croisements entre races locales et importées

Les croisements permettent d'augmenter rapidement la production laitière à partir de races locales peu productives, en conservant une certaine rusticité permettant l'élevage en conditions moyennes. Dans les zones infestées de glossines, le croisement peut être opéré entre bovins importés et bovins trypanotolérants. Avec un niveau de sang étranger de 50 %, la production passe de 5 à 7 ou 10 litres de lait par jour. Souvent, en système moyennement intensifié, le niveau de sang étranger qui réalise le meilleur compromis entre production laitière et rusticité se situe entre 50 et 75 %. Il est malaisé à atteindre dans la mesure où les races importées nécessaires pour obtenir les trois quart de sang étranger survivent mal en milieu difficile.

● Les races bovines importées pures

Les politiques de substitution des races locales par des races exotiques plus productives en systèmes intensifiés sont anciennes et ont rarement été efficaces. En effet, les bovins de pays tempérés ont une forte production laitière dans leur pays d'origine, mais une production souvent moindre sous les tropiques. Ils souffrent des périodes de forte chaleur, d'une alimentation insuffisante et de maladies pour lesquelles ils ne sont pas toujours bien protégés. Leur élevage a bien réussi dans les zones d'altitude (Kenya, Amérique latine, Sri Lanka) et peut présenter de l'intérêt en région périurbaine. En revanche, en élevage non intensifié, ils risquent de produire encore moins que les races locales, quand ils ne meurent pas.

Tableau 2. Production de lait totale de quelques races en pays tropicaux (chiffres arrondis)

Races	Production de lait par lactation (kg)	Production maximale signalée (kg)	Durée de lactation (mois)	Production de lait (l/jour)	Taux butyreux (%)
Zébus					
Maure	600-800	1 200	6-7	3-5	-
Azaouack	800-1 000	1 460	7-8	6-8 (début)	-
du Sokoto	500-1 600	2 000	-	-	5,8-6,5
Arabe	500-1 000	1 500	7-9	3-4	-
Goudali	600-1 200	2 275	7-10	-	-
Gobra	500-600	-	6-7	-	-
Peul du Soudan	500-650	750	7-8	2-3	-
White Fulani	600-1 000	1 500	8	-	-
Barca	700	1 840	6	-	3,7
Abyssin	450-700	-	6	2-2,8	-
Boran	400-850	1 800	5-10	-	4,1-6,8
Somali	-	-	-	2,3-2,7	5,5
Angoni	630-800	-	8-9	-	5,7
Malgache	200-350	-	6	2-5	-
Guzerat (Kankrej)	600-2 500 (Inde)	5 400	10	-	-
id.	900-1 500 (Sénégal)	-	-	-	-
Red Shindi	700-2 300 (Inde)	5 500	9-16	-	4,0-5,0
id.	1 300 (Tunisie)	-	10	-	-
Gir	1 200-2 300 (Inde)	5 300	8-12	-	4,5
Sangas					
Ankolé	600-650	1 500	7-8	4-5	-
Nilotique	750-900	-	-	2-6	6,5
Tuni (Jiddu)	650-1 000	> 2 000	8	-	-
Taurins africains					
Kouri	1 200	2 440	6-10	3-8	3-3,5
N'Dama	300-600	1 150	5-8	2-3 (*)	4,75
Baoulé	200-600	-	7-9	1,5-2,5 (*)	-
Lagunaire	125-300	-	5-9	-	-
Bovins croisés					
Sahiwal	1 100-3 175	4 500	10-16	-	4,0-6,0
id.	1 800-2 000 (Kenya)	-	10	6-7	-
N'Damance	1 400 (750-2 100)	2 700	9	5-9,8	-
Jersiais x N'Dama	1 300 (1 000- 2 100)	2 700	8,5	5-7	5,55
Frison x zébus	2 000-2 400 (Ethiopie)	-	-	5-6,5	-
Austr. milking zebu	1 450-2 650	5 000	10	-	4,8-4,9
Holstein x local	3 100-3 450 (Vietnam)	-	-	-	-
Bovins européens					
Montbéliard	2 700 (Sénégal)	3 560	-	8-11	3,85
Holstein	4 570 (Egypte)	6 000 (Vietnam)	10 (Egypte)	-	3,7 (Egypte)
Jersiaise	3 200 (Sénégal)	-	10	-	5,85
Tarine (Tarentaise)	> 2 400 (Maroc)	-	9	-	3,6
Buffle domestique					
	1 200-1 800	3 000	8-10	-	7,0-8,0

(*) 0,4-0,9 litres prélevés par jour.

● La reproduction

Physiologiquement, les bovins tropicaux ont souvent des chaleurs plus courtes et plus frustes que ceux des pays tempérés : 10 à 12 heures pour les taurins N'Dama et Baoulé, au lieu de 18 heures pour les taurins européens.

En milieux pastoraux et mixtes, utilisant la saillie naturelle, les performances de reproduction sont faibles en milieu villageois (fécondité de 50 % en moyenne chez des zébus, soit un veau vivant par vache tous les deux ans) et peuvent être bonnes en stations bien conduites (fécondité de 67 % en moyenne chez des zébus : deux veaux vivants par vache en trois ans). La puberté des bovins tropicaux est souvent plus tardive que celle des bovins des pays tempérés. Celle des produits de croisement entre eux est plus précoce, la puberté étant davantage liée au poids qu'à l'âge. En milieu pastoral, l'intervalle entre mises bas est en général proche de deux ans. Ces mauvaises performances sont surtout liées à une alimentation insuffisante, particulièrement à certains moments de l'année.

Les élevages améliorés utilisent l'insémination artificielle et parfois le transfert embryonnaire. L'insémination artificielle a constitué un instrument formidable de progrès génétique en Europe. Elle a permis une augmentation rapide et continue de la production laitière individuelle par l'utilisation à large échelle des taureaux sélectionnés et par l'indexation de ces taureaux grâce à la comparaison des productions laitières de leurs filles. En pays tropicaux, elle est très utilisée pour effectuer des croisements améliorateurs entre races (souvent par importation de semences de race améliorée). Les techniques de synchronisation et d'induction des chaleurs peuvent être adaptées aux bovins tropicaux.

Le transfert embryonnaire peut servir en pays tropicaux pour les échanges internationaux, pour la conservation des espèces, des races et des populations menacées ainsi que pour l'amélioration et la recherche en génétique animale.

● **Les productions**

● **Les filières laitières extensives traditionnelles**

Les zébus locaux produisent 200 à 1 200 kg de lait (sans et avec sélection) pour une lactation de courte durée : de six à huit mois. Cette production varie beaucoup selon les saisons, avec des pics très prononcés en périodes pluvieuses. Seule une partie de cette production est traitée : 150 à 500 kg par vache laitière et par an. L'importance de l'autoconsommation familiale, parfois forte, dépend des systèmes d'élevage. Avant d'envisager une sélection, il convient de s'interroger sur les contraintes alimentaires et sanitaires à la production.

Le circuit de commercialisation est court pour les produits frais ou faiblement transformés : vente directe ou avec un seul intermédiaire et livraison à domicile. Le traitement traditionnel et la commercialisation relèvent souvent, en Afrique, de la compétence des femmes. Dans le cas du beurre ou du fromage (quantités limitées), le circuit peut être bien plus long.

Le secteur informel est souvent efficace et peut fournir une grande partie des besoins, vu l'effectif important des animaux. La filière traditionnelle fournit une grande partie du lait de la population rurale et vient en complément des laits en poudre dans les petits centres urbains.

● **Les filières mixtes**

En système mixte agriculture-élevage, l'éleveur bénéficie des sous-produits de son activité agricole (par exemple fanes d'arachide au Sénégal, pelures de bananes en Ouganda, tubercules au Burundi) ce qui permet une alimentation diversifiée (mais pas toujours équilibrée) de son cheptel laitier. Inversement, le fumier est utilisé pour augmenter le rendement des cultures. Cela peut conduire à mettre en place des étables fumières, pour améliorer la production du fumier et mieux accompagner la production de lait : alimentation, soins, traite, etc. Les bovins utilisés dans ces systèmes mixtes sont soit des races locales réputées pour leur production laitière, soit des animaux métis bénéficiant d'un apport génétique améliorateur : comme par exemple les croisements Montbéliard x Ankolé au Burundi. Ces systèmes impliquent une organisation plus forte des exploitations : groupements de producteurs, centres de collecte du lait, réseaux de transporteurs.

● **Les filières modernes et intensives**

La production est assurée par des bovins exotiques ou issus de croisements. La production, supérieure à celle des bovins locaux, reste en général beaucoup plus faible qu'en Europe ou aux Etats-Unis. Ainsi la production de croisés demi-sang et trois quart exotiques est de l'ordre de 1 000 à 3 000 kg de lait, avec une lactation plus longue que les bovins locaux : 9-10 mois. Au Sénégal, des vaches Montbéliardes pures ont produit 3 560 kg en troisième lactation alors qu'en France, la production moyenne des Montbéliardes soumises au contrôle laitier était en 1997 de 6 000 kg. Au Vietnam, les vaches croisées F1 produisent en station entre 3 100 et 3 600 litres de lait par lactation et des vaches de race pure Holstein Friesian ont des productions maximales de 6 000 litres par lactation. Les systèmes intensifs se développent particulièrement dans la périphérie des villes où la contrainte foncière impose une intensification qui peut aboutir à des élevages hors-sol.

Le circuit de commercialisation passe par des grossistes et des demi-grossistes. Cependant, pour les producteurs proches des centres urbains, une commercialisation directe auprès d'un réseau de clients fidélisés est fréquente. La consommation est répartie sur l'ensemble du pays.

● **Les besoins alimentaires**

D'une manière générale, l'alimentation de la vache laitière doit être adaptée au niveau de production individuel de chaque vache sous peine de gaspiller des aliments ou de ne pas obtenir la production potentielle de la vache. La production de lait entraîne une augmentation des besoins en énergie, en matières azotées, en minéraux et en vitamines. Ces besoins complémentaires sont exprimés par kilogramme de lait produit. En pratique, une ration de base permettant une production limitée de lait est établie pour le troupeau ainsi qu'une ration complémentaire adaptée à la production de chaque vache du troupeau (cf. chapitre 711).

En systèmes pastoraux, l'alimentation est basée presque exclusivement sur l'herbe, dont la disponibilité varie en quantité et en qualité selon les saisons. La production de lait par animal est donc naturellement limitée et très variable au cours de l'année.

En systèmes mixtes, des cultures fourragères apportent un complément permettant d'augmenter et de régulariser la production de lait. En systèmes intensifiés, des compléments apportés à la ration permettent une production plus intense et régulière.

● La gestion du troupeau

Le but d'une bonne gestion est d'obtenir un maximum de temps productif pendant la vie de la vache et une production aussi élevée que possible pour le moindre coût.

● La gestion de la reproduction

Sans vêlage, il n'y a pas de lactation chez la vache. La génisse peut être mise à la reproduction quand elle atteint près des deux tiers du poids d'une vache adulte de même race. Le retard à la puberté peut être lié à l'alimentation ou être congénital. En élevage intensifié, voire mixte, il faut :

- > tenir un planning de fécondité et carrière par femelle reproductrice et une fiche récapitulative ;
- > observer les manifestations des chaleurs et noter leurs dates ;
- > faire inséminer au bon moment (deuxième moitié des chaleurs et peu après la fin des chaleurs), en respectant les règles d'hygiène ;
- > faire effectuer une palpation transrectale et éventuellement un traitement par l'agent d'élevage en cas de problème : anœstrus, nymphomanie, *repeat-breeding*, métrites ;
- > après le vêlage, nettoyer la vulve à l'eau et au savon ; vérifier que le placenta a été éliminé au plus tard dans les douze heures. Le technicien ou le vétérinaire procède alors à l'extraction du placenta et à la désinfection des cornes utérines. Cela réduit fortement le risque de métrite et donc de stérilité de la vache.

Tout avortement nécessite la venue du vétérinaire. Il vaut mieux réformer les vaches difficiles à féconder.

Pour provoquer le tarissement d'une bonne laitière, il faut séparer son veau si cela n'est pas déjà fait, la séparer du troupeau, la laisser sans aliment et sans eau 24 heures, lui donner seulement de la paille les 24 heures qui suivent, puis la réalimenter progressivement en trois jours. Il faut aussi introduire un antibiotique dans chaque quartier de la mamelle à la dernière traite et cesser de traire. Pendant cette période de tarissement, les vaches se reconstituent des réserves.

● La gestion sanitaire

La vache laitière est fragile. Les maladies ont des conséquences sur la lactation et aussi sur la fécondité. L'hygiène doit être respectée à tout moment. L'enclos des animaux malades doit être nettoyé et désinfecté régulièrement, plus fréquemment que les autres. Les mesures de prévention systématique des grandes maladies infectieuses, les vaccinations, les traitements contre les parasites et les traitements prophylactiques doivent être appliqués. Les mammites sont particulièrement suivies. Il est très important de tenir compte des *délais d'attente* des antibiotiques et des produits antiparasitaires. Pour chaque produit, une période minimale après un traitement a été fixée pendant laquelle le lait ne doit pas être consommé par l'homme.

Ces délais sont très variables et sont indiqués dans la documentation des produits. Les résidus antibiotiques sont dommageables car ils peuvent entraîner l'apparition de souches résistantes aux antibiotiques et des allergies pouvant être mortelles chez les consommateurs. Ils sont dommageables également dans la fabrication des fromages. Si le délai d'attente est assez court, des antibiotiques peuvent être utilisés sans dommage pendant la période de tarissement. En dehors de ces cas, le lait contenant des résidus doit être jeté.

Les maladies et les traitements peuvent être répertoriés sur une fiche individuelle.

● **La lactation et la traite**

Le but de la traite est d'extraire un lait de qualité sans nuire à la santé de la vache. L'exploitant doit disposer d'eau propre sur place ou à proximité. Pour évaluer la production laitière au cours de la lactation, il convient de la mesurer tous les 15 jours ou au moins tous les mois (traite du matin et traite du soir) en collectant le lait dans un récipient gradué, et de reporter les valeurs sur une fiche individuelle, ce qui permet de pouvoir tracer la courbe de lactation et de l'analyser.

● **La mise en condition de la vache**

En Afrique, les vaches (par exemple zébus ou N'Dama utilisables pour produire des laitières croisées) doivent être mises en présence de leur veau pour se laisser traire. Celui-ci amorce la traite en tétant dix à trente secondes. Le trayeur laisse ensuite le veau au contact ou en vue de sa mère. Plus la race est laitière, moins la présence du veau est indispensable. En cas de stress la vache retient son lait. Pour éviter les stress, il faut éviter de changer de trayeur et de faire courir la vache. Il faut agir au calme et traire à heure fixe, si possible dans le même local.

● **Le local de traite**

Il est plus facile d'effectuer la traite dans un local. Les opérations peuvent y être rationalisées et sont plus hygiéniques. En élevage transhumant, une aire en terre battue, légèrement surélevée et propre, installée près d'un point d'eau, est conseillée. En élevage sédentaire, une stabulation libre, annexée à une salle de traite construite en dur, convient. Le local doit être facile à nettoyer. Portes, barres de protections, mangeoires sont de préférence en métal facile à entretenir. L'équipement de ramassage et de stockage (bidons et cuves) est si possible en acier inoxydable, plus facile à nettoyer et désinfecter que les récipients en bois ou en plastique. La salle de traite sert aussi à alimenter les animaux, en particulier pour la ration de complément.

● **La laiterie**

Le lait y est refroidi puis conservé après la traite. Si la production est importante, le local sera séparé en deux parties : une zone de stockage du lait et une zone de nettoyage et de stockage des ustensiles.

● **Les techniques de traite**

Après avoir, si nécessaire, laissé le veau téter quelques secondes, on masse vigoureusement la mamelle et les trayons en lavant la mamelle avec une lavette ou un linge imprégné de désinfectant ; on laisse égoutter et sécher puis on élimine les premiers jets de lait, riches en microbes. Ces opérations doivent être rapides.

La traite proprement dite peut être manuelle ou mécanique. Une traite complète doit durer 7 à 10 minutes. À la fin, il faut tremper les trayons dans une solution désinfectante car le conduit reste ouvert quelques minutes. En cas d'allaitement restreint, le veau est laissé à la mère à la fin de la traite.

● **Les principaux risques sanitaires**

Une attention particulière doit être portée à la présence de zoonoses majeures comme la tuberculose et la brucellose, ces maladies étant facilement transmises à l'homme par le lait cru.

La *brucellose*, qui se manifeste surtout par des avortements tardifs, des non-délivrances, des métrites et de la stérilité chez la vache, peut aussi être transmise directement à l'homme. En Afrique, des hygromas peuvent être observés. Les taureaux peuvent présenter orchite ou épидидymite. Dans certains pays, l'éradication de la maladie, difficile et trop onéreuse au niveau national, reste essentielle au niveau des troupeaux spécialisés en production de lait. Lors de la constitution du troupeau, des tests de diagnostic effectués à partir du sang ou du lait (*ring test*) doivent être pratiqués pour ne pas introduire d'animaux atteints ou suspects de brucellose. Ces tests doivent être renouvelés périodiquement et les animaux positifs éliminés. Certains vaccins interfèrent avec ces tests de diagnostic.

De même, la *tuberculose* doit être évitée dans les troupeaux laitiers. La tuberculination est pratiquée à la constitution des troupeaux, puis régulièrement. Dans de nombreux pays, ces maladies sont réputées légalement contagieuses et font l'objet d'une législation sanitaire.

La vache laitière peut être atteinte de toutes les maladies et affections des bovins. Mais certaines d'entre elles sont plus fréquentes ou plus graves. Il s'agit souvent de maladies multifactorielles, notamment dans les systèmes intensifs.

Les *boiteries* sont par exemple fréquentes en élevage laitier. Or, une vache qui boîte mange moins et produit moins. Une taille régulière des pieds et de bons aplombs limitent leur incidence.

Les *mammites* sont des inflammations de la mamelle dues à la multiplication de germes. Une mammite clinique est bien visible : la mamelle est gonflée et douloureuse sur un ou plusieurs quartiers ; le lait est modifié et inutilisable ; il peut présenter des grumeaux. La mammite doit être soignée rapidement. Lors de mammite subclinique, la mamelle et le lait paraissent normaux, mais la quantité de lait peut diminuer et le comptage des cellules dans le lait donne un taux supérieur à 400 000 cellules par millilitre. Des tests indirects comme le *California Mastitis Test* (CMT ou test de Schalm) permettent de détecter des taux élevés de cellules dans chacun des quartiers. Le traitement fait appel à des antibiotiques introduits dans les quartiers atteints, après une traite complète et un nettoyage. Lors de mammite clinique, le lait de la vache ainsi traitée doit être écarté pendant le temps du délai d'attente. Lors de mammite subclinique, le traitement antibiotique est fait au moment du tarissement (pour toutes les vaches en lactation si le pourcentage de mammites cliniques est élevé) et l'hygiène de la traite est corrigée.

Les *métrites* sont des inflammations de l'utérus dues à une infection. Elles sont consécutives à des problèmes lors de la mise bas ou à des rétentions placentaires (non-délivrances) non ou mal traitées. Elles sont caractérisées par un écoulement de pus au niveau de la vulve. La vache ne peut pas être fécondée. Les métrites sont traitées par instillation locale d'antibiotiques ou de sulfamides.

L'*infertilité* a de fortes répercussions économiques. L'anœstrus, frigidité ou anaphrodisie est fréquent. Les chaleurs ne sont pas visibles pendant une période plus ou moins longue. Anatomiquement les ovaires sont inactifs, ou un corps jaune persistant est présent. L'alimentation doit être surveillée. Une injection d'analogues de prostaglandines peut lyser le corps jaune. Il y a *repeat breeding* lorsque plusieurs services sont nécessaires pour féconder la vache. Les causes en sont multiples : insémination à un mauvais moment, non-fécondation, mortalité embryonnaire, etc.

Les *avortements*, expulsions du fœtus avant la fin de la gestation, ont des causes variées, dont la brucellose, encore fréquente dans certains pays.

● **Les normes d'hygiène du lait**³

La production du lait a souvent lieu dans des zones éloignées des grands centres de transformation. Le lait doit être traité de façon hygiénique, collecté et réfrigéré aussi rapidement que possible. Il est important de maintenir la chaîne du froid jusqu'à sa consommation ou sa transformation.

Si l'exploitation est de taille suffisante, le mieux est de traire aux heures fraîches de la journée et de procéder à la réfrigération du lait aussitôt après sa collecte, sur place. Sinon, il est bon de prévoir des centres de collecte afin que le lait soit réfrigéré à 4°C dans les plus brefs délais et, en tout cas, moins de deux heures après la traite.

Le système d'activation de la lactoperoxydase peut permettre d'augmenter ce délai qui passe alors à 6 à 10 heures, selon la température ambiante et les normes acceptées. Il doit être mis en œuvre par du personnel qualifié et peut être appliqué au lait réfrigéré. En augmentant la durée de conservation du lait avant réfrigération ou avant livraison à la laiterie, on peut augmenter le rayon de collecte. Le système lactoperoxydase, thiocyanate et peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) est un système de défense naturel du lait qui inhibe les lactocoques, responsables de la fermentation du lait. Il peut être amplifié par addition de quantités précises de thiocyanate (10 ppm) et de H₂O₂ (8 à 9 ppm).

En France, le lait cru de vache destiné à la consommation doit contenir moins de 100 000 germes à 30°C et moins de 400 000 cellules par ml ; le lait cru de bufflonne destiné à la fabrication de produits doit contenir moins de 1 000 000 germes à 30°C et moins de 500 000 cellules par ml. Pour le lait de consommation, on recherche les *Salmonella* dans 25 g, les *Staphylococcus aureus* et les coliformes dans 1 ml et les Streptocoques bêta-hémolytiques dans 0,1 ml.

En Afrique, la qualité bactériologique du lait est rarement satisfaisante au moment de la consommation. Il est recommandé au consommateur de faire bouillir le lait avant consommation. Des efforts doivent être faits pour améliorer le respect des règles d'hygiène et de bonne conservation tout au long du circuit. Le paiement du lait à la qualité est un bon moyen d'incitation des producteurs.

³ cf. chapitre 63.

L'ÉLEVAGE DES BOVINS À VIANDE

En zone tropicale l'élevage extensif vise plusieurs fonctions, mais la production de viande est, le plus souvent, la plus importante.

● **Des types génétiques très divers**

En Afrique, les races bovines locales sont rarement spécialisées ou sélectionnées pour la production de viande ; il n'y a pas de conformation particulière pour cette production. En fait, une grande diversité de types génétiques (zébus, taurins, métis) est utilisée ; ils résultent de l'adaptation des populations animales à des conditions de milieu diverses et parfois contraignantes, et des choix de sélection des éleveurs.

La viande est souvent la production principale du système de production bovine mais elle est moins autoconsommée au niveau familial que le lait. La viande des petits animaux (mouton, chèvre, porc, volailles) est souvent préférée à celle des gros animaux. Leur format est plus adapté à la consommation villageoise ou familiale, leur prix est moins élevé et ils se reproduisent plus vite.

● **La reproduction**

En élevage extensif, la fécondité des races locales tourne souvent autour de 50 % (un veau vivant par vache tous les deux ans). Elle peut être fortement améliorée avec une meilleure alimentation comme cela est expliqué dans le chapitre 711.

● **La production de viande**

● **Définitions**

Poids vif : poids de l'animal sur pied (le matin, théoriquement à jeun depuis la veille, ce qui n'est pas toujours possible). L'animal est pesé à la bascule ou son poids peut être évalué par barymétrie⁴.

Poids vif vide : c'est le poids vif moins le poids du contenu du tube digestif et de la vessie au moment de l'éviscération. Il est calculé après l'abattage.

Carcasse : c'est ce qui reste de l'animal après l'abattage, la saignée, le dépouillement, l'éviscération et l'enlèvement de la tête, des pieds, de la saignée (partie de muscles entourant le trou de saignée), des mamelles et des organes génitaux. Elle est constituée par l'ensemble du squelette (moins la tête et les extrémités) et des muscles ; les reins, la bosse (chez le zébu et le dromadaire), la hampe, l'onglet (diaphragme) et la queue restent adhérents à la carcasse.

Poids de carcasse : il est déduit en général de la pesée de la carcasse faite à chaud après l'abattage. On parle aussi de carcasse ressuyée, après 24 h. en chambre froide. On enlève classiquement 2 % chez les bovins, les ovins et les caprins et 2,5 % chez les porcs pour estimer le poids de la carcasse *ressuyée* ou *à froid*. En réalité, les pertes varient entre 1,5 et 4 %.

⁴ Estimation du poids à partir des mensurations qui sont, comme le périmètre thoracique, bien corrélées avec le poids vif.

Découpe de la carcasse : en Europe, la colonne vertébrale et le sternum sont en général fendus dans leur longueur pour former deux *demi-carcasses*. Chaque demi-carcasse est elle-même découpée en deux *quartiers* entre les 10^{ème} et 11^{ème} côtes. On distingue alors les deux quartiers de devant, les deux quartiers de derrière et le *cinquième quartier* comprenant les *abats*, destinés à la consommation humaine, et les *issues*. En Afrique, sur les marchés traditionnels, la découpe a moins d'importance que dans les pays européens. Souvent, les différents morceaux sont vendus mélangés (*au tas*) au même prix : muscle, bosse, tripes, os, etc.

Chez les bovins, les viscères thoraciques (poumon, cœur, thymus), les viscères abdominaux (foie, tripes, panse, rate, etc.), la cervelle, la langue et la mamelle, sont des abats. Chez le veau, l'agneau et le porc, le sang, la peau et les pieds sont des abats car ils sont consommés. Les abats rouges sont vendus à l'état cru (cœur, foie, rate) et les abats blancs après cuisson par le boucher (tripes, têtes, pieds).

Les *issues* peuvent être destinées à l'industrie. Elles comprennent le cuir, les poils, les crins, les pieds des gros animaux, les onglons, les cornes, les boyaux non utilisables pour la charcuterie, le sang des grands animaux, les glandes, etc.

Le poids du 5^{ème} quartier représente environ le quart du poids vif chez le zébu, 15 % chez les ovins et les caprins, et 10 % chez les porcins.

Tableau 3. Proportions des différentes parties du bovin de boucherie par rapport au poids vif

Carcasse		45 à 60 %
Cinquième quartier	abats	12 à 16 %
	issues	14 à 17 %
	total	25 à 30 %
Contenu digestif		12 à 20 %

● Le rendement pondéral

On distingue différents indicateurs de rendement : les premiers concernent l'abattage : les rendements *brut* et *net* ; le suivant est le rendement au désossage.

> *Le rendement brut à l'abattage ou le rendement boucher* : $100 \times \text{poids de carcasse} / \text{poids vif}$. Ce rendement brut varie beaucoup, selon l'espèce, la race, et surtout l'état des animaux.

Tableau 4. Exemples de rendements bruts de bétail zébu (bœufs de boucherie, carcasse chaude)

bétail d'élevage traditionnel en mauvais état (fin de saison sèche)	45 %
bétail d'élevage traditionnel en bon état (fin de saison des pluies)	50 %
bétail d'élevage en <i>ranching</i>	50 à 55 %
bétail d'embouche intensive	55 à 60 %

Le tableau 5 donne des rendements observés dans diverses races tropicales et européennes. La fourchette varie entre 40 et 70 %. Les races les plus spécialisées pour la viande présentent les meilleurs rendements.

Tableau 5. Exemples de performances bouchères selon la race (mâles) en pays tropicaux et en Europe

Races	Poids à la naissance (kg)	Poids adulte (kg)	GMQ présevrage (g/j)	Age au sevrage (mois)	Poids à 12 mois (kg)	Rendement (%)
En Afrique						
taurin Baoulé	12-16	200-250	200-600	9	93	48-60
taurin N'Dama	15-25	220-420	380	8-9	130	40-60
taurin Kouri	25	400-700	635	7-8	-	50
zébu Azaouak	21	300-422	443	-	125	48-50
zébu Red Fulani	15	300-520	500-700	-	-	40-45
zébu White Fulani	20-25	250-350	500-1 000	-	150	50-52
zébu Boran	25	320-680	640	8	-	54-57
sanga Ankolé	17-25	350-500	-	-	135 / 165	45-55
sanga Africander	28	450-900	-	-	-	59-64
Jersiais x N'Dama	-	400	440	6	145	58
Abondance x N'Dama	26	> 450	-	-	245	-
Autres pays tropicaux						
Bali	-	350-400	-	-	-	50-58
Romano-Sinuano (Amér.)	30	600-800	-	-	-	58-60
Brahmane américain	25-30	750-1 000	-	-	209	60
En Europe						
Bovins laitiers						
Montbéliarde	55	1 100	-	2	-	57
Prim'Holstein	-	1 100	-	-	-	60
Bovins mixtes						
Brune des Alpes	-	850-1 000	1 038	7	-	60
Salers	-	800-1 200	-	-	-	50-60
Tarine	-	700-1 000	-	-	300	< 50
Bovins à viande						
Limousin	38	1 050	1000	8	400-550	70
Charolais	48	1 150	1200	8	550	50-70

> *Le rendement net* : 100 x poids de carcasse/poids vif vide (sans le contenu du tube digestif) ;

> *Le rendement au désossage* : c'est la production réelle de viande comestible soit 100 x poids viande / poids de carcasse (le plus souvent).

On peut aussi établir des indicateurs complémentaires :

> *la proportion d'os dans la carcasse* : 100 x poids d'os / poids de carcasse ;

> *la proportion de gras dans la carcasse* : 100 x poids gras et déchets / poids de carcasse.

Ces taux varient beaucoup selon l'état corporel des animaux au moment de l'abattage ; cet état est lié aux variations saisonnières et au type d'alimentation et de conduite. Ils sont nettement améliorés si l'animal a été correctement engraisé avant l'abattage.

Le rendement au désossage varie de 65 à 70 % pour des zébus sahétiens. Les os représentent 18 à 30 % de la carcasse, et le gras et les déchets 7 à 15 %.

Les zébus du ranch d'embouche sahélienne d'Ekfrahane au Niger

Les rendements calculés sur plusieurs milliers de carcasses ont été les suivants : rendement carcasse : 51,5 % ; perte en frigorifique : 4,0 % ; rendement au désossage : 74,2 %

Tableau 6. Rendement pondéral de zébus sahéliens (Niger et Tchad)

	Vache de réforme	Demi boeuf	Boeuf zébu arabe (1)
Poids vif (kg)	273	-	300 – 350
Poids de carcasse (kg)	122	74	150 – 175
Rendement carcasse	44,6	-	-
Poids des os (kg)	28,8	15,2	-
Poids de déchet (kg)	10,3	6,0	-
Poids de viande (kg)	82,9	52,0	-
Viande / carcasse (%)	66,6	71,3	-

(1) bœufs zébus arabes engraisés sur les polders du lac Tchad (cultures fourragères et graines de coton.

● L'évaluation du poids

● La barymétrie

C'est une méthode d'estimation du poids vif à partir de mensurations prises sur l'animal vivant. Trois formules sont possibles : la formule de Crevat, la formule logarithmique et la formule linéaire, la plus simple et la plus utilisée actuellement.

Formule de Crevat

$P = a \times Pth^3$, avec :

P = poids en kg ; Pth = périmètre thoracique en mètre ; a = coefficient dépendant de l'animal.

Tableau 7. Valeurs du coefficient a pour le zébu peul soudanien et le taurin N'Dama

	Type d'animal	Valeur du coefficient a
Zébu peul soudanien (Macina, Mali)	taureaux	73 < a < 83
	bœufs	70 < a < 76
	vaches	72 < a < 82
Taurin N'Dama	Pth < 1,4 m	a = 80
	1,4 m < Pth < 1,6 m	a = 75
	Pth > 1,6 m	a = 70

Formule logarithmique

Le poids (P) en kg est fonction du périmètre thoracique (Pth) en cm.

Prim'Holstein $P = 0,00036 Pth^{2,68}$

Normande $P = 0,00034 Pth^{2,71}$

Pie rouge de l'Est $P = 0,00049 Pth^{2,60}$

N'Dama mâles $P = 0,00048 \text{ Pth}^{2,56}$

N'Dama femelles $P = 0,00037 \text{ Pth}^{2,62}$

Formules linéaires

Pour le N'Dama, on peut estimer le poids à partir du périmètre thoracique (en cm) à l'aide des formules linéaires suivantes établies en élevage de ranch (Madina Diassa et Yanfolila) au Mali :

> *bovins à dents de lait*

mâles $P = 2,65 \text{ Pth} - 196,22$

femelles $P = 2,21 \text{ Pth} - 141,64$

> *bovins adultes (dents usées)*

mâles $P = 4,23 \text{ Pth} - 378,43$

femelles $P = 2,62 \text{ Pth} - 159,50$

À 550 jours, la meilleure formule ($r = 0,93$) est $P = 2,4776 \text{ Pth} - 171,800$ pour les mâles.

Les formules peuvent être recalculées en fonction du milieu et de la race. Leur établissement est aisé. Il faut suivre la croissance d'au moins 50 bovins par des pesées et mensurations classiques. En Afrique, là où le déplacement d'une bascule n'est pas possible, ce type d'évaluation donne de bons résultats.

● La pesée

Elle est faite à l'aide d'un peson jusqu'à 6 mois pour les bovins africains, et d'une bascule au delà de 6 mois. L'étalonnage est obligatoire au début des opérations.

● Les indicateurs de croissance

Les courbes de croissance sont rarement régulières.

Les *poids à âge-type*, à trois mois, six mois et un an sont souvent utilisés. Ils sont calculés par interpolation entre deux mesures qui entourent l'âge considéré. Le résultat est valable si ces mesures ne sont pas trop éloignées.

Le *gain moyen quotidien* (GMQ en g/j) indique la vitesse moyenne de croissance pendant une période déterminée. Il est particulièrement pertinent chez les jeunes. Le GMQ d'un animal rapporté à 100 kg de poids vif permet de comparer les performances entre races, voire entre espèces.

Le *poids à la mise bas* des femelles reproductrices est un bon indicateur de suivi ; il indique, par exemple, qu'une femelle n'a pas eu le temps de reconstituer ses réserves corporelles si elle a perdu du poids entre deux mises bas.

● Le prix de vente

Prix au kg vif : prix de l'animal vivant divisé par son poids vif.

Prix au kg net : prix de l'animal vivant divisé par le poids de la carcasse.

Le prix de vente du kilo de carcasse peut être inférieur au prix au kilo net. Il tient compte de la valorisation du cinquième quartier, des frais d'abattage, de la marge de l'abatteur et de la conjoncture commerciale.

● La mortalité

Les suivis d'élevage permettent de préciser les indicateurs de mortalité (taux annuels de mortalité pour les différentes classes d'âge), alors que les enquêtes donnent des résultats plus imprécis car liés à la déclaration et à la mémoire de l'interlocuteur.

Les taux annuels de mortalité se situent aux environs de 10-20 % chez les jeunes de 0 à 1 an (ils peuvent atteindre 30 à 40 % chez les veaux dans des troupeaux bovins exposés à des situations sanitaires particulièrement difficiles) et de 4 à 5 % chez les adultes. Dans les enquêtes ponctuelles, ces taux de mortalité sont généralement sous-estimés.

● La productivité

Divers indicateurs peuvent être retenus pour caractériser la productivité numérique. Le taux de fécondité (nombre de veaux nés vivants par femelle et par an) est sans doute l'un des plus fondamentaux. On utilise aussi classiquement un indicateur qui intègre d'autres phases d'élevage : le nombre de veaux sevrés par femelle et par an. Il est relativement aisé à obtenir chez l'éleveur. Cet indicateur de productivité numérique combiné avec le poids moyen des veaux permet d'établir des indicateurs de la productivité pondérale, en poids de veau (de 6 mois, au sevrage, ou d'un an...) par vache et par an.

Exemples d'index de productivité au Sénégal et au Mexique

Dans le Sine-Saloum, au Sénégal, cet indicateur (ou index) de productivité pondérale, établi en situation réelle, varie du simple au double selon les conditions d'élevage : le poids moyen de veau de 1 an produit par 100 kg de vache entretenue passe de 20 kg en élevage extensif traditionnel à 44 kg en élevage amélioré. Notons que le poids de veau produit a été rapporté à 100 kg de poids vif de vache entretenue (et non à la vache), ce qui intègre d'autres déterminants de l'élevage et permet des comparaisons de productivité entre races de format différents.

Au Mexique, dans l'Etat de Colima, un index de productivité du même type que le précédent a été calculé en tenant compte de la quantité de lait prélevée dans trois situations d'élevage (cf. tableau 8). Cet index permet de comparer entre eux des élevages mixtes puisqu'il prend en compte simultanément la croissance des veaux et la production de lait. Dans les conditions favorables (élevages disposant de l'irrigation et donc de bonnes conditions alimentaires toute l'année), la valeur de l'index calculé est 2,7 fois plus grande que celle des élevages entretenus en conditions défavorables.

Tableau 8. Index de productivité dans trois situations d'élevage au Mexique

Conditions d'élevage	Défavorables	Intermédiaires	Favorables
Taux de vêlage (%)	50	60	70
Mortalité des veaux de 0 à 1 an (%)	4	4	4
Poids moyen des veaux à 1 an (kg)	130	150	180
Lait traité (kg)	300	800	1 200
Poids moyen de veau de 1 an t produit par vache du troupeau (kg)	$(130 + (300/9)) \times 0,96 \times 0,5$	$(150 + (800/9)) \times 0,96 \times 0,6$	$(180 + (1\ 200/9)) \times 0,96 \times 0,7$
Index de productivité (kg)	78	138	211

● Les professionnels de la boucherie

Les bouchers abatteurs-détaillants : ils assurent tous les stades de la transformation et de la commercialisation de la viande, depuis l'achat de l'animal jusqu'à la vente au détail.

Les bouchers grossistes ou chevillards : ils s'occupent de l'achat du bétail, de sa transformation et de la commercialisation de la viande en gros.

Les bouchers détaillants : ils n'achètent pas de bétail eux-mêmes, mais de la viande en carcasse auprès des bouchers grossistes et la commercialisent au détail.

Les tripiers : ils sont spécialisés dans la vente au détail des abats qu'ils achètent en gros à un chevillard ou à un abatteur-détaillant.

Les tueurs : ces ouvriers assurent la transformation des animaux pour le compte d'un boucher. Ils sont rémunérés essentiellement en nature par la *part coutumière* consistant, selon les cas, en collier, diaphragme, queue, trachée, poumons, etc.

● L'embouche

● La définition

Par embouche, on entend l'engraissement et la mise en condition de certains types de bétail pour la boucherie. La rentabilité dépend de nombreux facteurs, dont les plus importants sont :

- > l'efficacité de l'atelier d'embouche (indices de consommation, croissances pondérales, durée, etc.) ;
- > l'écart entre le prix de l'animal maigre et celui de l'animal engraisé.

● Les objectifs

Les objectifs visés par les éleveurs sont doubles :

- > améliorer le rendement des carcasses et la qualité de la viande ;
- > valoriser des produits agricoles et des sous-produits agro-industriels.

Au niveau des Etats, favoriser l'embouche permet :

- > d'augmenter la production de viande ;
- > de créer une nouvelle activité dans le secteur agricole ;
- > de diminuer la charge des pâturages par déstockage des parcours traditionnels.

● Les principales techniques

On distingue :

- > *l'embouche longue en ranching*, où de jeunes bovins achetés entre 18 mois et 2 ans sont engraisés pendant deux ans environ (deux saisons d'herbe) ;
- > *l'embouche herbagère* sur pâturages naturels ou améliorés, irrigués ou non, avec une distribution de compléments alimentaires, de résidus agricoles ou de sous-produits agro-industriels ;
- > *l'embouche industrielle* ou *feed-lot*, ou *atelier d'engraissement*. L'alimentation est entièrement apportée dans l'auge. C'est une embouche en *zéro grazing* à partir de tous les sous-produits disponibles ;

> *l'embouche paysanne* comme à Madagascar et au Niger, où les agriculteurs engraisent quelques têtes de bétail avec des fourrages et des sous-produits provenant de leur exploitation. Une variante intéressante de cette embouche paysanne est *l'embouche longue* réalisée par les utilisateurs de traction bovine dans le bassin arachidier du Sénégal. Ces agro-éleveurs dressent des bœufs très jeunes (vers deux ans) pour le travail et valorisent ainsi l'alimentation à travers la croissance pondérale et le travail attelé ; ces bœufs sont exploités en boucherie après seulement une, deux ou trois campagnes agricoles et après une bonne prise de poids.

Tableau 9. Exemples de résultats d'embouche en Afrique et à Madagascar

Pays	Types d'animaux	Durée d'embouche	Ration de base	Complémentation	GMO (g/j)	IC	Poids final (kg)
Madagascar	Zébus Malgaches castrés	6 mois	Coques de coton	Tourteau de c. 2 kg	686	8,36	356,7 ± 59
				Tourteau de c. 800 g + urée 200 g + mélasse 800 g	637	7,97	349,5 ± 54
Cameroun	Zébus Gudali	84 j	Coques d'arachide	Farine + son + graines de coton	948	6,84	
				Farine + son + tourteau de coton	1 054	6,67	
Madagascar	Zébus Malgaches	6 mois 3 pr. mois	Fourrage vert à l'auge (<i>Trypsacum</i> + <i>Pennisetum</i>)	Maïs + tourteau d'arach.	593 751	13,7 -	361 ± 116
Madagascar	Métis Malgaches x Brahman	5,5 mois	Fourrage vert à l'auge (<i>Trypsacum</i> + <i>Pennisetum</i>)	Maïs + tourteau	910	8,7	
Côte d'Ivoire	Métis zébu x N'Dama	55 j	<i>Panicum</i> (auge) Pâturage <i>Stylosanthes</i>	Manioc 6 kg + graine de coton 2 kg + farine de riz 3 kg	750	9,3	
				Farine de riz	311	-	
Côte d'Ivoire	Métis zébu x N'Dama	82 j	<i>Panicum</i> (auge) Pâturage <i>Stylosanthes</i>	Manioc 6 kg + graine de coton 2 kg + farine de riz 3 kg	593	11,4	
				Farine de riz	206	-	
Sénégal	Zébu Gobra	4 mois	Coques d'arachide + mélasse Coques d'arachide + mélasse	Concentré 1 (tourteau 10 %)	1 080	6,2	384
				Concentré 2 (tourteau 3 % + urée)	585	10,3	325
Tchad	Zébu arabe	5 à 8 mois	<i>Pennisetum purpureum</i> irrigué à l'auge ou au pâturage	Graine de coton (1 à 2,2 kg) - Natron	320 à 600	7 à 11	320 à 380

● Les résultats⁵

L'ensemble des essais conduits mettent en évidence :

- > la supériorité des mâles, qu'ils soient entiers ou castrés ;
- > le rôle fondamental de la durée de l'embouche ;
- > le rôle de l'âge sur l'aptitude à l'embouche ;
- > l'aptitude de certaines races à l'embouche.

● La gestion de l'embouche

Les systèmes d'embouche varient selon l'intensification de l'alimentation, la durée, etc. Les choix stratégiques dépendent de facteurs techniques, liés aux caractéristiques des animaux et des ressources alimentaires disponibles, et de facteurs économiques comme les prix saisonniers du bétail maigre et du bétail gras, la disponibilité et le prix des aliments, etc.

Les races bovines locales africaines peuvent donner des rendements satisfaisants en embouche courte : 600 à 1 000 g/j de GMQ pendant trois à six mois. Ensuite, elles font vite de la graisse et l'efficacité alimentaire diminue, ainsi que la rentabilité.

L'amélioration du rendement est possible. L'engraissement augmente non seulement le poids de l'animal, mais aussi les rendements à la boucherie et au désossage.

● Les principaux risques sanitaires

Tous les types de pathologie peuvent affecter la croissance et la production de viande. Toutefois, les animaux à l'engrais sont plus spécialement atteints par des maladies nutritionnelles.

● Les troubles de la croissance

La *rachitisme* est dû à un manque de calcium, de phosphore ou de vitamine D. Il se manifeste par une mauvaise croissance des os : déformation et arrêt de croissance.

La *mauvaise croissance des jeunes* est souvent due à une carence en vitamine A dans le lait maternel, vitamine apportée exclusivement par les aliments. Elle peut être due aussi à un manque d'absorption par le veau de *colostrum* apportant vitamines (A, B12 et C), anticorps et un effet laxatif. Cette absorption doit être précoce et massive.

L'*anémie* affaiblit l'organisme par la réduction du nombre de globules rouges dans le sang. Elle est d'origine variée.

L'*entérotoxémie* est une toxi-infection due à des bactéries anaérobies liées au sol. L'apparition est brutale et l'évolution rapide ; elle débouche sur la mort. Elle atteint surtout les jeunes, notamment les plus performants. On la contourne en évitant les indigestions par un passage progressif aux aliments concentrés, un régime riche en fibres et sans excès de protéines, ainsi qu'en déparasitant et en vaccinant les animaux.

Le *météorisme* ou *tympanisme* peut se produire à la suite d'une alimentation trop riche en protéines, mais aussi sur un animal gavé, ou après absorption d'un aliment toxique ou fermentescible. Le flanc gauche gonfle rapidement, ce qui peut mener à la mort.

⁵ Cf. tableau 9.

Chez le veau à l'engraissement, des formes chroniques peuvent ralentir la croissance. Le traitement est médical ou chirurgical, par ponction de la panse au trocard.

● **L'hygiène des produits animaux⁶**

Les filières viande sont souvent très courtes. Dans la filière traditionnelle en Afrique, il n'existe guère de réfrigération ou de respect de la continuité de la chaîne de froid. Les risques sanitaires sont cependant atténués car la viande est souvent consommée très vite après l'achat (dans la journée de l'abattage) et cuite longuement.

Il existe aussi des filières longues de transport sur pied, en camion ou en train (ou mixtes : à pied, puis en train par exemple). Exemples : du Mali en Côte d'Ivoire, du Tchad au Nigeria. Le prix de départ est modéré et il peut doubler à l'arrivée ; ceci s'explique non seulement par les coûts de convoyage et de transport, mais aussi par le jeu des taxes tout au long de la filière.

Lors des déplacements *sur pied*, parfois très longs, on peut observer une perte de poids des animaux. Par camion, en revanche, ce sont les conditions de transport qui peuvent être très stressantes pour les animaux : chaleur, soif, inconfort, etc. Cela pose souvent des problèmes de qualité des carcasses, liée à ces mauvais traitements : animaux déshydratés, pas de repos ni de récupération à l'arrivée avant l'abattage, etc.

L'ÉLEVAGE DES BOVINS DE TRAIT

● **Caractéristiques et aptitude au travail**

L'utilisation des animaux de trait constitue, au début du ^{xxi}^{ème} siècle, une réalité importante. À l'échelle mondiale, elle concerne plus de 400 millions d'animaux d'espèces diverses. Viennent en tête les bovins, les buffles, les chevaux, les ânes et les dromadaires. Des espèces d'animaux plus originales participent aussi au portage ou au trait : ovins, caprins, chiens, éléphants, lamas, etc. Plus des deux tiers des paysans des pays en développement ont encore recours uniquement à l'utilisation d'outils manuels pour cultiver leurs champs ; les autres utilisent la traction animale et très peu ont accès à des tracteurs. Ces chiffres confirment la marge de progrès possible pour la traction animale dans les exploitations d'agriculture familiale des pays en développement (cf. chapitre 438). Aujourd'hui, l'Afrique subsaharienne compte plus de 11 millions de bovins de trait, dont 6 millions en Ethiopie, et 2,6 millions en Afrique francophone avec, pour cette région de l'Afrique, une majorité dans les zones semi-arides et sub-humides.

Les bovidés utilisés pour le travail en zone tropicale sont des zébus (*Bos indicus*), des taurins (*Bos taurus*), des buffles (*Bubalus* sp.) et des yacks. En Afrique, les zébus vivent dans les zones sahéliennes et soudaniennes et les taurins dans celles plus humides (guinéennes). Les buffles se trouvent essentiellement en Asie du Sud-Est et les yacks dans les régions de haute montagne d'Asie centrale. Le tableau 10 récapitule le poids vif adulte, la hauteur au garrot et l'aptitude au travail de quelques races de bovins africains et indiens. De nombreuses races de zébus sont utilisées pour le travail, le portage

⁶ Cf. chapitre 63.

(élevage nomade), le transport (par exemple la traction de charrettes) et la traction ou la culture attelée. En Afrique, la petite taille de certaines races de taurins les rend moins performants pour la culture attelée, sauf en croisement.

Tableau 10. Poids vif adulte, hauteur au garrot et aptitude au travail de quelques races de bovins africains et indiens

Races	Poids vif adulte du mâle (kg)	Poids vif adulte de la femelle (kg)	Hauteur au garrot du mâle (cm)	Aptitude au travail
Zébus d'Afrique de l'Ouest				
Zébu Maure	350-500	250-300	125-130	boeufs de portage (nomade)
Zébu Azaouak	300-500	250-300	120-130	boeufs de portage
Zébu Arabe (Choa)	350-400	250-300	135-140	bonne, animal docile
Zébu Goudali	450	350	130-135	réputé docile
Zébu Gobra	350-450	250-350	130-145	très bon (joug, portage)
Zébu Peul soudanien	300-350	250-300	120-140	traction au Mali et Burkina
Zébu Akou	450-500	300-400	130-150	assez docile
Zébu M'Bororo	300-400	250-300	140-160	difficile à dresser
Taurins d'Afrique de l'Ouest				
Kouri	400-700	350-400	140-160	portage
N'Dama	250-300	250	115	limite car petit gabarit
Baoulé	200-250	180-235	110	limite car petit gabarit
Lagunaire	125	100-120	105	non utilisé car trop petit
Bovins d'Afrique de l'Est et australe				
Zébu Barca	300	240	-	moyenne
Zébu Boran	350	300	135-145	bonne
Zébu Bukédi (Nkedi)	380	300	-	bonne
Zébu Tanzanien (TZS)	300	220	-	emploi limité
Sanga Ankole	300-500	350	130-140	bonne
Samba Barotse	580	400	-	très bonne
Samba Afrikander	700-800	450	140	très bonne
(sanga x zébu) Arado	310	250	-	bonne, docile
(sanga x zébu) Tuni	400	300	-	bonne
(sanga x taurin) Bonsmara	800	550	-	bonne
Autres bovins africains et buffles				
Zébu Malgache	300-350	200-250	-	portage, préparation des rizières
(zébu x taurin) Djakoré	-	400	-	très bonne, endurant
(zébu x Taurin) Renitelo	715	445	140	bonne, a peu diffusé
buffle domestique	500-1 000	400-700	140-150	très bon, lent
Bovins de l'Inde				
Zébu Guzerat (Kankrej)	550	400-450	155	bonne (traction de charrettes)
Zébu Gir	550	390	120-140	bonne (traction de charrettes)
Zébu Sahiwal	450-600	270-400	130	bonne (traction de charrettes)

Chiffres arrondis.

Les buffles d'Asie (*Bubalus bubalus*) sont très largement employés pour le travail en Asie du Sud-Est, notamment dans les rizières et pour le charroi. Il sont plus forts que les bovins mais en général plus lents. Ces animaux sont très dociles et familiers. Le mode de vie *semi-aquatique* du buffle des marais exige des bains de boue fréquents (mode d'évacuation de l'extra-chaaleur de travail). Les mâles, comme les femelles, peuvent travailler 5 h par jour à raison de 70 à 150 j/an. Ce sont également d'excellents animaux de transport par charrette et portage (100 à 150 kg sur une distance de 25 km).

Les yacks (*Bos grunniens*), utilisés essentiellement pour le bât, vivent entre 3 000 et 6 000 m d'altitude au Tibet, au Népal, en Mongolie, en Chine et dans diverses régions d'Asie centrale. Le poids vif moyen des adultes est compris entre 250 kg (femelles) et 550 kg (mâles). Ils peuvent transporter des charges de 120 à 160 kg sur des parcours montagneux à une vitesse voisine de 2,5 à 3 km/h.

● **La production de travail**

● **Comparaison entre les ânes, les zébus et les chevaux**

Le tableau 11 indique les capacités de travail du zébu, de l'âne et du cheval qui ont été étudiées en détail et comparées dans des conditions d'utilisation identiques au Nord-Cameroun.

Tableau 11. Comparaisons entre ânes, zébus et chevaux

Espèce	Âne	Zébu	Cheval
Race	Africain	M'Bororo ou Goudali	Dongolaw
Poids vif (PV) en kg	100-150	225-300	325-450
Forces de traction optimales (% du PV)	10-16	9-15	10-16
Vitesse moyenne (km/h)	2,7-3,2	2,5-2,8	3,3-3,4
Durée de travail (h)	3,5-5,5	4,5-6,5	4,5-6,0
Dépense énergétique liée au travail (MJ)	5-8	24-40	16-24

Source : VALL E., 1996. *Capacités de travail, comportement à l'effort et réponses physiologiques du zébu, de l'âne et du cheval au Nord-Cameroun*. ENSAM, Montpellier, 418 p. (Thèse doc.).

● **La diversité des capacités de travail des bovins de trait**

Les tableaux 12 et 13 donnent des estimations des capacités de trait et de portage des bovins de trait. Ces données doivent être considérées comme des ordres de grandeur, les performances à l'effort pouvant varier dans de grandes proportions selon les conditions de travail : sol, forme physique des animaux, durée du travail, composition de l'attelage, etc.

Tableau 12. Estimations de la capacité de trait de plusieurs espèces tirant des instruments à des vitesses faibles et moyennes

	Vitesse faible				Vitesse moyenne		
	Poids adulte (kg)	Vitesse (km/h)	Effort de traction (kgf)	Energie (kw)	Vitesse (km/h)	Effort de traction (kgf)	Energie (kw)
Bœuf léger	210	2,5	30	0,21	4,0	21	0,23
Bœuf moyen	450	2,5	64	0,44	4,0	45	0,50
Bœuf lourd	900	2,5	129	0,89	4,0	90	0,99
Vache légère	200	2,5	20	0,13	3,5	16	0,15
Vache lourde	575	2,5	58	0,40	3,5	48	0,46
Buffle léger	400	2,5	56	0,39	3,2	40	0,35
Buffle moyen	650	2,5	91	0,63	3,2	65	0,57
Buffle lourd	900	2,5	126	0,87	3,2	90	0,80

Source : GÖE M.R., 1983. *Current status of research on animal traction*. In *Wild Anim. Rev.* 1983. - n. 45, p. 2-17 p.

Tableau 13. Estimations des capacités de portage pour des durées supérieures à 6h par jour

	Poids adulte (kg)	Vitesse (km/h)	Charge moyenne (kg)	Charge maximale (kg)
Bœuf léger	210	3,5	25	55
Bœuf moyen	450	3,5	55	115
Bœuf lourd	900	3,5	110	225
Buffle (mâle) léger	400	3,0	50	60
Buffle (mâle) moyen	650	3,0	82	100
Buffle (mâle) lourd	900	3,0	110	140

Source: Gœ, 1983.

● Les besoins alimentaires

Sur le plan nutritionnel, la production de travail correspond principalement à une utilisation supplémentaire d'énergie par rapport à l'entretien. La dépense d'énergie d'un bovin au travail équivaut à environ 1,7 fois la dépense énergétique d'entretien sur le même laps de temps. Le travail influe peu sur l'augmentation des besoins en protéines, minéraux et vitamines. Il augmente significativement la consommation d'eau.

Pour l'énergie, le système retenu est celui des unités fourragères lait (UFL) élaboré par l'INRA en France, qui exprime les valeurs énergétiques des besoins des animaux au niveau de l'énergie nette (cf. chapitre 711). Pour le travail, l'UFL apparaît appropriée.

● Recommandations pour l'entretien et le travail

La dépense d'énergie d'un bovin de trait liée au travail (DE) peut être exprimée comme la somme des dépenses énergétiques élémentaires, soit :

déplacement horizontal + travail de traction + portage + déplacement vertical.

La formule de Lawrence (1985) exprime la DE au niveau de l'énergie métabolisable (EM). Dans le cas d'un zébu Brahman, elle s'écrit ainsi :

$$DE \text{ (en kJ)} = 2 \times D \times PV + 2,6 \times D \times C + W/0,3 + (9,81 \times H \times PV) / 0,36$$

(PV : poids vif en kg ; D : distance parcourue à plat en km ; C : charge portée en kg ; W : travail de traction en kJ ; H : dénivellation en km).

Pour obtenir l'énergie nette liée aux dépenses de travail, on applique le coefficient de 0,65 à DE (le même coefficient que pour l'entretien) puis on convertit DE en unités fourragères lait (UFL).

La référence pour l'entretien est un animal en fin de croissance ou un adulte au repos, au poids constant et qui maintient son état général. Le besoin quotidien d'entretien pour un bovin au repos se déplaçant sur moins d'un km et conservant son poids dépend de son poids métabolique ($PV^{0,75}$). On l'estime à 70 kcal par kg de poids métabolique, ce qui donne 3,7 UFL pour un individu de 400 kg. Les besoins en énergie et en matières azotées calculés pour un bovin de trait en utilisant la formule de Lawrence figurent au tableau 14.

Tableau 14. Besoins en énergie et en matières azotées digestibles d'un bovin de trait

Poids vif (kg)	Intensité du travail	UFL/j			MAD (g/j)		
		Temps de travail par jour			Temps de travail par jour		
		4 h	6 h	+ /h *	4 h	6 h	+ /h *
200	Léger	3,0	3,3	0,16	224	248	13
	Moyen	3,2	3,6	0,21	240	272	17
	Fort	3,4	3,9		256	296	
300	Léger	4,2	4,7	0,25	312	352	20
	Moyen	4,5	5,1	0,32	336	384	26
	Fort	4,8	5,6		360	424	
400	Léger	5,3	6,0	0,35	396	452	28
	Moyen	5,8	6,7	0,46	447	508	37
	Fort	6,2	7,4		468	564	
500	Léger	6,5	7,4	0,45	485	558	36
	Moyen	7,0	8,2	0,59	525	621	47
	Fort	7,6	9,1		573	693	

* : UFL ou MAD nécessaires par heure de travail supplémentaire.

Des minéraux doivent être fournis aux animaux. En climat chaud, la perte d'éléments minéraux dans la sueur peut être très importante en cas d'effort intense et de travail de longue durée. Les apports supplémentaires par rapport à l'entretien concernent essentiellement le calcium, le phosphore et le sodium (cf. tableau 15).

L'attention doit porter sur le phosphore et le sodium dont la teneur est toujours faible dans les pâturages tropicaux. Pour les autres minéraux, les recommandations (en g/kg MS ingérée) sont les suivantes : magnésium : 1,5 ; potassium : 5,0 ; cuivre : 0,01 ; zinc : 0,05.

La complémentation en minéraux se fait le plus souvent au moyen de blocs à lécher. En milieu paysan, une pierre à lécher peut être fabriquée avec de la poudre d'os (riche en phosphore), du sel et des oligo-éléments (CMV). Le liant peut être du ciment ou de la mélasse. La fabrication peut être faite artisanalement avec : 500 g de poudre d'os ; 350 g de sel ; 100 g de son de céréale ; 50 g de ciment.

Tableau 15. Recommandations en calcium, phosphore et sodium pour les bovins à l'entretien ou au travail (en g/kg MS ingérée)

	À l'entretien			Au travail		
	Ca	P	Na	Ca	P	Na
Bœuf	2	1,5	1,3	3	2	3
Vache	3	2	1,2	4	3	2,5

● La consommation d'aliments

Le travail ne modifie pas la capacité d'ingestion des bovins. En revanche, lorsqu'il y a un apport de concentré, en diminuant l'encombrement de la ration améliorée (base + concentré), on augmente l'ingestibilité de la ration. L'ingestion de matière sèche augmente avec la valeur énergétique de la ration (cf. chapitre 711).

Il est nécessaire de fournir au moins 10 % de plus par rapport aux quantités calculées (refus et tri). En période de travail, il faut veiller au temps d'ingestion ; si l'animal dispose de peu de temps avec des rations contenant une forte proportion de fourrages grossiers, l'ingestion diminue. Il convient de fractionner les apports durant la journée :

- > *matin avant le travail* : apport des concentrés et service d'eau ;
- > *mi journée* : pâturage et chaume ;
- > *fin de journée et nuit* : pâturage et service de nuit de fourrage et d'eau.

● La consommation d'eau

La consommation d'eau dépend des conditions climatiques, de la ration ingérée (taux de matière sèche) et des productions (activité physique, etc.). L'eau contenue dans les aliments peut être importante (80 % du poids frais des jeunes fourrages verts). Elle constitue un apport élevé à certaines périodes de l'année (jusqu'à 80 % des apports). En saison sèche, l'eau nécessaire provient principalement de l'eau de boisson. Les quantités d'eau bues varient de façon importante : de deux à cinq litres par kg de MS ingérée. Des recommandations sont données dans le tableau 16. Les limites sont larges pour chaque classe, car les données sont peu nombreuses et proposent des écarts importants.

Tableau 16. Quantités d'eau consommée (l/100 kg PV) en fonction de la saison de travail

Quantité de MS consommée (kg/100 kg PV)	Travail	Saison sèche		Saison des pluies	
		Fraîche	Chaude	Fraîche (*)	Chaude (**)
< 1,5	léger ou moyen	4 à 6	6 à 8	2 à 4	3 à 5
1,5 à 2,5	moyen	5 à 7	8 à 11	3 à 6	4 à 7
> 2,5	moyen ou fort	7 à 10	10 à 14	4 à 8	5 à 10

* : consommation de fourrage d'une teneur en MS < 25 %.

** : consommation de fourrage d'une teneur en MS > 45 %.

● La gestion du troupeau

● Le dressage

C'est un ensemble d'apprentissages successifs, basé sur la répétition des ordres et des contraintes imposées aux animaux, visant à obtenir un comportement *docile et volontaire à la fois*, pour l'exécution des travaux. De la qualité du dressage dépend l'efficacité et le rendement au travail des animaux durant toute leur carrière. Un bon dresseur doit être patient, calme et ferme.

La durée du dressage, malheureusement souvent écourtée, devrait être d'environ un mois. Elle dépend des qualités du dresseur et du caractère des animaux. Le dressage peut commencer à trois ou quatre ans, voire sans brusquer les animaux vers deux ans. La meilleure époque est la fin de la saison sèche, ce qui permet de parfaire le dressage au moment des premiers labours. Un attelage devient parfaitement opérationnel après deux à trois campagnes agricoles.

Trois méthodes de dressage sont employées pour les bovins. La première consiste à dresser deux nouveaux jeunes taurillons sous le même joug. C'est la plus courante, mais la plus difficile. La seconde, dite du *parrain*, consiste à éduquer un jeune en compagnie d'un animal expérimenté. Deux jeunes sont ensuite réunis sous le même joug. La troisième, dite *sandwich*, se pratique avec un joug de trois places ; le candidat au dressage est placé au milieu d'une paire expérimentée. Cette méthode est courante en Afrique du sud-est.

L'utilisateur de l'attelage doit effectuer lui même le dressage de son attelage ou au moins y participer activement. Il est nécessaire de parler aux animaux. Il faut donner un nom bref à l'animal (deux syllabes). Il faut accoutumer l'animal à réagir aux ordres suivants : avancer, arrêter, tourner à gauche, à droite, reculer. Chaque ordre doit être accompagné d'une sollicitation effective.

Des moyens de contrainte doivent être utilisés immédiatement après un ordre non exécuté, mais sans brutalité. Il faut les arrêter aussitôt l'ordre exécuté. Les bâtons de bois, le cas échéant, doivent être minces et souples. Autrefois, en Europe, on estimait qu'un bon charretier ne se servait pratiquement jamais de son fouet. Bien utilisé, l'aiguillon électrique permet d'éviter les blessures ; mais il ne faut surtout pas en abuser.

Le dressage comprend plusieurs étapes d'une semaine chacune environ :

- > *l'accoutumance à l'homme* permet d'approcher et de toucher l'animal sans provoquer son inquiétude. Le perçage de la cloison nasale à l'aide d'une pince spéciale et le rognage des cornes (3 à 5 cm aux extrémités) peuvent aider le dressage ;
- > *la pose et la tolérance du joug* : les animaux sont attachés par les cornes à la barre horizontale du travail pour les habituer l'un à l'autre et les familiariser avec les activités humaines proches ;
- > *l'entraînement à la marche* requiert souvent la présence de trois personnes (une en tête, deux sur les côtés). Il permet au bouvier d'introduire le commandement à la voix. Au départ, les animaux sont tenus de près (au besoin au moyen de cordages). À la fin, l'attelage marche seul sans la présence de l'aide et obéit à la voix et aux guides ;
- > *le développement d'un effort de traction* consiste à habituer l'attelage à tracter une charge dont on augmente progressivement le poids (tronc d'arbre). Les séquences de traction sont entrecoupées de nombreux repos (par exemple 10 minutes de travail et 30 minutes de repos) ;
- > *enfin la traction d'outils agricoles* consiste à habituer l'attelage à effectuer un travail agricole sur une parcelle.

● La castration

La castration rend l'animal plus doux et plus docile. L'âge auquel castrer l'animal est sujet à controverse, l'optimum pouvant être situé entre deux et trois ans. Si l'opération est pratiquée après trois ans, le caractère du taureau est déjà bien affirmé et l'effet est faible. Si elle est pratiquée avant deux ans, elle risque de limiter le développement musculaire de l'animal. D'autre part la castration doit être effectuée quatre semaines au moins avant le début du dressage, de façon à ce que le *choc opératoire* se soit estompé. Un vétérinaire ou un technicien compétent peuvent être appelés pour réaliser la castration. Les pinces à castrer de type *Burdizzo* sont bien adaptées.

● La gestion de la carrière des bovins

La durée d'utilisation des bovins de trait est très variable. Elle dépend du mode d'utilisation des animaux, mais aussi des conditions du marché fixant le prix d'achat des jeunes bovins et le prix de vente des bovins de réforme. Elle peut aller jusqu'à la réforme de l'animal dès la fin de la première campagne.

En caricaturant, on peut dire qu'en utilisant l'animal sur une période courte (deux à trois saisons pour une réforme à cinq ou six ans) on perd du point de vue du travail, car l'animal est réformé lorsqu'il atteint sa pleine maturité pour le travail et sa pleine capacité physique pour effectuer des travaux lourds. À l'inverse, l'utilisation des bœufs de trait sur une période longue (huit à dix ans) expose son propriétaire à des risques importants de *perte sèche*, en cas de mort brutale d'un adulte de haute valeur marchande.

De plus, la valeur bouchère d'un adulte n'augmente pas avec le nombre des années⁷, il est souvent plus rentable de réformer un animal en fin de croissance (six ans en moyenne). La durée d'utilisation des animaux de trait relève d'une stratégie complexe, qui repose sur un compromis entre divers paramètres, parmi lesquels les conditions du marché jouent un rôle clé.

Les stratégies des utilisateurs sont variables. Au Sénégal, ils choisissent souvent d'utiliser des bœufs de trait dressés jeunes, avec des carrières de travail très courtes. Cette stratégie *d'embouche longue* permet de valoriser au mieux l'alimentation complémentaire apportée à ces jeunes bœufs en croissance par le travail et par la production de viande ; elle se justifie dans le bassin arachidier du Sénégal, où les travaux en culture attelée dans des sols légers n'exigent pas une grande puissance.

● Les risques sanitaires et les normes prophylactiques

Il n'existe pas de pathologie spécifique aux animaux de trait. Cependant leur utilisation extrême peut exacerber certaines maladies et traumatismes bénins dans d'autres types d'élevage, comme les pathologies accidentelles : plaies cutanées, lésions articulaires, etc. D'autre part, certaines maladies se révèlent plus graves chez les animaux de trait car elles les empêchent de travailler (par exemple la dermatophilose). Enfin la fatigue peut réactiver des maladies ou en exacerber les symptômes comme dans le cas de la trypanosomose. Pour maintenir un état sanitaire satisfaisant, il importe de veiller au respect des règles élémentaires d'hygiène et de travail plutôt que de soigner (souvent trop tard) les animaux.

● Les règles élémentaires d'hygiène

L'achat d'un animal de travail devrait passer par un examen clinique approfondi et par sa mise en quarantaine. Il est indispensable d'effectuer les vaccinations courantes et les déparasitages réguliers selon un calendrier établi en fonction des conditions locales.

⁷ Elle peut même chuter si, à la réforme, l'animal paraît vieux, épuisé, etc.

Il convient de pratiquer un rythme de travail modéré⁸, et d'assurer des temps suffisants pour l'alimentation et le repos en période de travail : service d'eau et de concentré le matin avant le travail, chaumes à l'ombre en milieu de journée. Les animaux doivent être régulièrement pansés et surtout détiqués à la main, les sabots si possible curés et les onglons taillés de temps à autre. Il convient aussi de nettoyer régulièrement l'aire de repos, de vérifier l'état des harnachements et de les nettoyer.

● Les blessures et les boiteries

La majorité des plaies ou des lésions articulaires font suite à une mauvaise utilisation des animaux et à un manque d'attention de la part du paysan. Les blessures les plus fréquentes sont les contusions (par coup) et les plaies (par défaut de harnachement ou par coup). Les boiteries sont dues principalement à des tendinites provoquées par des efforts violents, à des panaris interdigités, des entorses, des arthrites et arthroses, des polyarthrites ou des fractures.

● Les deux groupes de maladies

Toute maladie bactérienne, virale ou parasitaire diminue, voire interdit l'utilisation de l'animal de trait. Elle doit être soignée et des traitements relativement coûteux sont envisageables, vu l'importance économique des animaux de trait et les conséquences de l'indisponibilité de l'attelage sur le revenu de l'exploitation.

Il est possible de définir deux groupes de maladies des bovins de trait :

- > certaines maladies ont des conséquences économiques graves car elles interdisent toute utilisation des animaux, alors qu'elles ne mettent pas ou rarement la vie des bêtes en danger, certaines étant mêmes considérées comme secondaires chez les animaux en élevage extensif. Ce sont les maladies cutanées, et la suspicion d'une de ces maladies (dermatophilose, dermatose nodulaire et parasitisme externe par les tiques ou par la gale) doit entraîner une demande d'assistance auprès des services d'élevage ;
- > d'autres sont aggravées par la traction attelée ou se développent davantage. Les principales sont les trypanosomoses, les babésioses, les theilerioses et les parasitoses internes : strongyloses, trématodoses (douve du foie) et ténias.

⁸ Périodes de travail coupées par des phases de repos, reconnaissance des signes de fatigue.

Bibliographie

- LHOSTE P., 1987. *L'association agriculture-élevage. Evolution du système agropastoral au Sine-Saloum (Sénégal)*. CIRAD-LEMVT. Etudes et synthèses n° 21, 314 p.
- LHOSTE P., DOLLÉ V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. *Zootchnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage*. Paris, Ministère de la Coopération. CIRAD, 288 p. (Manuels et précis d'élevage)

Les bovins laitiers

- DAJUSTI N., VANCAUTEREN D., 1999. *Les systèmes d'élevage du district de Mbanrara (Ouganda) et leur contribution à la filière laitière*. CNEARC/ESAT, Montpellier, 276 p. + ann. (Mémoire de Master Développement agricole tropical)
- LAHLOU-KASSI A., REY B., FAYE B., 1994. *Maladies d'élevage dans les systèmes laitiers périurbains d'Afrique sub-saharienne : l'approche du CIPEA*. Vet. Res. 25 : 331-337.
- MEYER C., DENIS J.-P., ed., 1999. *Elevage de la vache laitière en zone tropicale*. Montpellier, CIRAD-LEMVT, 314 p. (Collection techniques)

Les bovins à viande

- CAREW S.F., SANDFORD J., WISSOCQ Y.J., DURKIN J., TRAIL J.M.C., 1986. *Productivité de bovins N'Dama à la station de Teko (Sierra Leone) et premiers résultats de croisements avec la race Sahiwal*. Bulletin ILCA, 23) : 2-10.
- CHOISIS J.P., CERVANTES N., 1989. *Fonctionnement des élevages bovins mixtes en milieu tropical mexicain (Etat de Colima)*. Etudes et synthèses de l'LEMVT n° 29, 234 p.

Les bovins de trait

- LE THIEC G. (éd.), 1996. *Agriculture africaine et traction animale*. CIRAD, Montpellier (FRA), CIRAD-SAR, 355 p. (Coll. Techniques (FRA))
- LHOSTE PH., THIERRY G., HUGUENIN J., 1990. *Traction animale et développement agricole des régions chaudes. Volume 3. Les animaux*. Montpellier, France, CIRAD-LEMVT, 240 p.
- MUNZINGER P. (éd.), 1982. *La traction animale en Afrique*. Eschborn (DEU), GTZ, 528 p. (Schriftenreihe der GTZ (DEU) n° 121)
- VALL E., 1996. *Capacité de travail, comportement à l'effort et réponses physiologiques du zébu, de l'âne et du cheval au Nord-Cameroun*. Montpellier, ENSAM, CIRAD, Thèse doc. 418 p.

Les élevages ovins, caprins et camélins

À partir des contributions de B. Faye (CIRAD),
C. Meyer (CIRAD) et D. Richard (CIRAD)

L'ÉLEVAGE OVIN

● Les phénotypes

Les races ovines sont très nombreuses en zones tropicales. En Afrique, plusieurs ensembles peuvent être distingués : les grands moutons des zones désertiques et nord-sahéliennes, les moutons de format moyen des zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes, les moutons à queue grasse des zones arides d'Afrique de l'Est, et les ovins de petit format des zones humides. Il faut aussi mentionner les croisements dans les zones d'interface de ces ensembles, qui constituent des populations en général peu fixées sur le plan génétique.

● La reproduction

La durée du cycle sexuel est assez caractéristique de l'espèce. La durée moyenne est de 17 jours (14 à 19 jours). Il existe des variations importantes. Celles-ci peuvent être liées à la race, au poids des animaux, à leur état physiologique, ou à des facteurs climatiques, éventuellement à des pathologies.

En élevage traditionnel extensif, il n'existe en général aucune séparation des sexes et toute femelle en âge de se reproduire doit donc être considérée comme mise à la reproduction. Il convient alors de déterminer à partir de quel âge une femelle entre dans la catégorie des reproductrices. Le nombre de femelles en âge de reproduire, qui sert de base au calcul des différentes variables, est un effectif moyen annuel. En élevage intensif, les animaux sont conduits par lots, les accouplements sont contrôlés ou programmés par traitement hormonal. Les fluctuations du nombre de reproductrices sont très faibles. Le tableau 1 illustre ces éléments par quelques résultats qui montrent la diversité des performances selon les milieux et les systèmes de production.

Tableau 1. Performances de reproduction des ovins subsahariens de races sahéliennes et soudano-guinéennes (Touabire du Sénégal et Peul-Foulbé du Cameroun, Peul-Peul du Sénégal et Mossi du Burkina Faso, Djallonké du Sénégal)

Age à la première mise bas (en mois)	Prolificité (pour 100)	Fécondité (pour 100)	Mortalité avant un an (pour 100)
14 à 18	100 à 115	95 à 140	25 à 50

Bien que les comparaisons inter-races soient délicates, les races soudano-guinéennes sont globalement plus précoces (un à deux mois) et plus prolifiques (10 à 20 %) que les races sahéliennes lorsqu'elles sont élevées dans des conditions alimentaires non extrêmes.

● **Les productions**

● **La production laitière**

Le lait de brebis présente quelques spécificités. Il est riche en matière sèche (190 g/kg) et en matières grasses (60 à 80 g/kg), comparativement aux laits des autres ruminants domestiques. Sa composition évolue au cours de la lactation (diminution de la teneur en matières grasses avec le temps). Les teneurs en matières azotées (entre 50 et 60 g/kg), en calcium (2 g/l) et en phosphore (1,5 g/l) sont également plus élevées que dans les laits de vache et de chèvre.

Cette composition donne une valeur énergétique élevée du kg de lait (> 1 000 kcal), et des besoins énergétiques et azotés importants au cours de la lactation (>0,6 UFL/kg de lait, à comparer à 0,43 UFL/kg de lait de vache). Pour une production de lait d'un litre par jour, les besoins d'une brebis de 30 kg sont de 1,1 UFL, soit plus du double des besoins d'entretien (0,42 UFL).

La mesure de la production laitière de brebis allaitantes pose des problèmes de méthode. Elle peut être étudiée par la croissance des agneaux. Des observations ont permis de mettre en liaison les quantités bues par les agneaux et leur croissance : c'est l'indice de transformation (gramme de lait bu par gramme de croissance de l'agneau).

Calcul d'indices de transformation pour des agneaux au Sénégal, au Togo et en France

Des mesures faites sur les brebis Peul allaitantes au Sénégal ont montré un indice de 6,25 pour des agneaux ayant une croissance comprise entre 150 et 200 g/j au cours des quatre premières semaines. Au Togo, un indice voisin est rapporté pour les agneaux Vogan (croisement de moutons Peul et Djallonké). Ces résultats sont proches de ceux observés sur des agneaux en France. Pour des agneaux Djallonké, des indices plus élevés de 7,7 et de 7,9 ont été mesurés selon la taille des portées.

Différentes mesures faites en zone tropicale ont permis d'établir une courbe de lactation classique, avec un pic vers la quatrième semaine, une bonne persistance pendant les deuxième et troisième mois, puis une diminution assez rapide jusqu'au cinquième ou sixième mois. La production journalière peut dépasser 1,5 kg en pic de lactation.

Les données disponibles reflètent d'importantes variations : des brebis Djallonké du Togo ont produit 57 à 86 kg en trois mois et demi, des brebis Peul au Sénégal 155 kg en cinq mois, des brebis métis Vogan 120 à 180 kg en cinq mois et demi. Globalement, en conditions alimentaires non limitantes, on observe une production laitière supérieure pour les races sahéliennes, qui induit aussi une croissance plus rapide avant sevrage chez ces races.

● La croissance

Le poids vif évolue en fonction de l'âge des animaux selon une courbe sigmoïde classique dans la plupart des espèces :

- > une phase initiale de croissance accélérée correspond à la période d'allaitement (quatre à six mois) ;
- > la croissance est soutenue du sevrage à dix-huit mois ;
- > puis la croissance est lente de dix-huit mois à cinq ans et tend progressivement vers zéro lorsque l'animal arrive à maturité.

Cette évolution dépend bien sûr du potentiel génétique et du contexte alimentaire. Le croît exprimé en kilo de poids vif résulte de plusieurs phénomènes : l'évolution des contenus digestifs liée notamment au changement de régime, l'augmentation de la capacité d'ingestion avec l'âge, la composition du gain net qui comprend de plus en plus de gras et de moins en moins de muscle lorsque l'âge augmente.

Tableau 2. Gains moyens quotidiens (g) de quelques races ovines sahéliennes et soudaniennes au Tchad (d'après Dumas, 1980)

Race	De 8 jours au sevrage	Du sevrage à 18 mois	De 18 mois à 5 ans
Races sahéliennes			
Mouton Peul Oudah			
Mâle	129	60	8
Femelle	127	45	6
Mouton Arabe			
Mâle	108	47	9
Femelle	110	35	7
Races soudaniennes			
Mouton Mayo-Kebbi	87	28	6
Mouton Kirdi	47	29	2

La croissance n'est pas régulière avant le sevrage : très rapide le premier mois, elle peut décliner rapidement suivant l'état nutritionnel de la mère et le contexte alimentaire.

Exemples de gains moyens quotidiens au Cameroun

Par exemple, chez le mouton Djallonké du nord-ouest du Cameroun, Symoens et Hardouin (1988) trouvent les résultats de GMQ suivants : 127 g de 0 à 30 jours ; 93 g de 30 à 90 jours et 30 g de 90 à 150 jours.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la croissance du mouton dont l'alimentation, le sexe, le génotype, le mode de naissance et la saison.

L'effet de l'alimentation

Le poids et la taille des agneaux à la naissance dépendent de l'état de nutrition de la mère durant la deuxième moitié de la gestation.

Une malnutrition de la mère pendant cette période se traduit par une réduction de la taille et du poids des agneaux à la naissance de 30 à 50 % par rapport à la normale.

Après la naissance, la vitesse de croissance de l'agneau dépend essentiellement de la production laitière de la mère ; lorsque celle-ci est suffisante, le taux de croissance maximal est atteint dans les premières semaines de la vie, alors que si cet apport est insuffisant, la vitesse de croissance optimale est atteinte seulement à partir de la cinquième semaine, c'est-à-dire lorsque l'animal peut consommer et métaboliser des aliments solides.

Après le sevrage, l'amélioration de l'alimentation par la complémentation ou par l'emploi de rations intensives (cf. chapitre 65), provoque une croissance accélérée avec des gains journaliers atteignant 150 g par jour (le plus souvent entre 75 et 125 g/j). Les agneaux peuvent ainsi atteindre plus rapidement leur poids adulte, par exemple à neuf ou dix mois, et les moutons de dix-huit mois ou plus peuvent être engraisés en deux à trois mois.

L'effet du sexe

Les performances de croissance des mâles sont supérieures à celle des femelles. Pour le gain moyen quotidien, l'avantage lié au sexe mâle s'exprime essentiellement après le troisième mois.

L'effet du mode de naissance

Les agneaux nés simples sont plus lourds que les doublons à tous les âges considérés, et ils atteignent plus précocement le poids adulte. Cette différence s'explique par l'écart de poids à la naissance entre agneaux nés simples et doublons, mais aussi par la concurrence alimentaire entre les jumeaux durant l'allaitement. En effet, les différences de GMQ entre les deux catégories ne sont significatives que durant l'allaitement. Après le sevrage, il n'y a plus aucune différence entre les GMQ, ce qui montre qu'il n'y a pas de croissance compensatrice chez les doublons, qui restent ainsi handicapés durant toute leur croissance par rapport aux agneaux nés simples.

L'effet de la saison

La saison intervient surtout par la disponibilité en pâturage et la température. En milieu sahélien, les agneaux nés en fin de saison de pluie ont une croissance plus rapide que ceux nés en milieu de saison sèche, en raison notamment de la malnutrition des mères en gestation par manque de pâturage.

● **Les besoins alimentaires**

Les recommandations alimentaires constituent les éléments nécessaires pour faire du rationnement, avec les valeurs des aliments et la capacité d'ingestion des animaux. Elles sont exprimées dans des tableaux incluant en général l'énergie, les matières azotées, le calcium et le phosphore. Elles concernent des animaux élevés dans des conditions climatiques non extrêmes et en état nutritionnel moyen (notes d'état corporel de deux à trois).

L'état nutritionnel peut être caractérisé par une appréciation de l'état général au moyen d'une notation de l'état corporel qui est en relation étroite avec l'état de ses réserves en graisses. Cet état peut varier d'un état cachectique à un état pléthorique.

Cela s'apprécie par une note qui va de zéro pour un animal très maigre à cinq pour une brebis très grasse. Ces notations se font par observation et palpation de la région lombaire. L'état des réserves corporelles influe sur le niveau de consommation de matière sèche : pour un même poids vif, des ovins maigres consomment plus d'aliments que des animaux gras. Des mesures ont montré une différence de consommation de 10 % entre des animaux dont la note d'état était respectivement de 1,5 et de 2,5.

Tableau 3. Recommandations pour les brebis en stabulation, avec une valeur énergétique moyenne du lait de 0,68 UFL/kg et une teneur en protéines de 60 g/kg

Poids vif (kg)	Performances	UFL	MAD (g)	PDI (g)	Ca (g)	P (g)	
20	entretien	0,31	24	25	2,0	1,5	
	5 ^{ème} mois gestation	0,38	36	38	2,8	1,9	
	lactation	lait produit / jour					
		300 g	0,51	53	50	3,5	2,2
		600 g	0,72	82	74	5,0	2,8
900 g	0,92	111	99	6,5	3,5		
30	entretien	0,42	32	33	2,5	1,8	
	5 ^{ème} mois gestation	0,53	48	50	3,4	2,3	
	lactation	lait produit / jour					
		400 g	0,69	71	66	4,5	2,5
		800 g	0,96	110	99	6,5	3,6
1200 g	1,24	148	131	8,5	4,4		
40	entretien	0,52	40	41	4,0	2,0	
	5 ^{ème} mois gestation	0,66	60	62	4,1	2,5	
	lactation	lait produit / jour					
		500 g	0,86	89	82	5,5	3,1
		1000 g	1,20	137	123	8,0	4,2
1500 g	1,54	186	164	10,5	5,3		

Tableau 4. Recommandations pour les béliers en croissance-engraissement en stabulation

Poids vif (kg)	GMQ (g)	UFL	MAD (g)	PDI (g)	Ca (g)	P (g)
20	entretien	0,31	24	25	2,0	1,5
	50	0,51	40	40	3,1	2,0
	80	0,57	50	50	3,8	2,3
	110	0,62	59	58	4,4	2,6
	140	0,68	69	68	5,1	2,9
	170	0,75	79	77	5,8	3,2
30	entretien	0,42	32	33	2,5	1,8
	70	0,72	56	55	4,1	2,5
	110	0,80	65	63	5,0	2,9
	150	0,90	77	74	5,8	3,3
40	entretien	0,52	40	41	3,0	2,0
	75	0,95	63	62	4,7	2,9
	110	1,06	71	69	5,5	3,1
	145	1,18	82	79	6,2	3,5

Sur parcours, les besoins d'entretien doivent être augmentés pour les brebis et les béliers dans les proportions présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Augmentation des besoins d'entretien sur parcours (en % des besoins évalués en stabulation)

Type de parcours	UFL	MAD	PDI	Ca	P
Agricole (2 à 4 km par jour)	+ 20 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %
Pastoral (7 à 10 km par jour)	+ 50 %	+ 20 %	+ 20 %	+ 20 %	+ 20 %
Montagneux	+ 60 %	+ 25 %	+ 25 %	+ 25 %	+ 25 %

L'alimentation des ovins doit être raisonnée en fonction d'objectifs de production : accroissement numérique du troupeau, croissance des jeunes agneaux sous la mère, ou finition des béliers. Ces productions sont assurées en fonction des nutriments apportés par les aliments. Pour les brebis, elles dépendent également de la disponibilité en réserves corporelles au cas où les apports alimentaires sont insuffisants, en particulier en début de lactation. Ce manque d'apports peut avoir deux origines :

- > les ressources sont insuffisantes en quantité et qualité, cas fréquent pour les animaux entretenus sans complémentation sur parcours naturels en zone tropicale ;
- > les brebis, limitées par leur capacité d'ingestion, ne peuvent consommer suffisamment d'aliments pour couvrir leurs besoins. Ce cas se rencontre chez les femelles à forte production laitière, qui ont des agneaux à croissance potentielle élevée. En effet, les recommandations pour les brebis montrent que les besoins d'entretien peuvent être triplés dans le cas de GMQ élevés des jeunes.

Dans ces deux cas, les conséquences sur la reproduction peuvent être négatives et limiter les cycles de reproduction dans le temps. La reproduction est un point essentiel pour la productivité numérique des troupeaux conduits en mode extensif et exploités principalement pour une production de viande. En effet, les mécanismes physiologiques de la reproduction sont en grande partie sous la dépendance des facteurs liés à la nutrition énergétique. Les apports en énergie ont des conséquences sur l'ovulation et la fécondation, et les réserves corporelles jouent un rôle tampon important au cours de la lactation en suppléant aux apports insuffisants de la ration.

● La gestion du troupeau

Les principes de gestion dépendent des systèmes de production et des conditions agro-écologiques.

En système traditionnel extensif

La gestion des animaux est le plus souvent opportuniste. Il faut attirer l'attention des éleveurs sur la prévention sanitaire, notamment par le contrôle des maladies infectieuses, sur une bonne adaptation des logements de nuit à une protection des animaux contre le froid et les vents, et si possible sur un contrôle des reproducteurs. La reproduction est plus saisonnée dans les zones arides que dans les zones humides, ce qui tient aux variations importantes des ressources alimentaires dans les régions sèches. La complémentation par des sous-produits permet de moduler ce saisonnement.

Dans les élevages intensifs

La gestion se fait par allotement des brebis, sélection des béliers, conduite raisonnée de l'alimentation et protection sanitaire appropriée aux conditions climatiques. L'application des techniques de synchronisation de la reproduction par traitement hormonal ne doit intervenir que quand les conditions ci-dessus sont déjà maîtrisées.

● **Les principaux risques sanitaires**

Les maladies infectieuses et parasitaires sont nombreuses chez les moutons. Il faut souligner l'importance de maladies infectieuses classiques majeures (peste des petits ruminants, clavelée, cowdriose), des maladies plurifactorielles comme les affections respiratoires, et les infestations par les helminthes. Ces affections, signalées et développées par ailleurs (cf. chapitre 66), peuvent faire l'objet de traitements et de prévention.

Cette prévention fait appel aux vaccins pour les maladies infectieuses classiques ; mais elle fait aussi appel aux conditions d'entretien des animaux. De bonnes conditions d'abreuvement et de logement peuvent ainsi assurer des conditions d'hygiène limitant les effets des agents infectieux et parasitaires.

● **Les produits**

Le principal produit est la viande, le plus souvent autoconsommée. Parmi les autres productions, il faut signaler la laine, mais de nombreuses races des zones tropicales portent des poils. Le lait est utilisé par certains éleveurs, rarement en produit pur. Il est peu transformé en fromages purs, mais le plus souvent mélangé avec des laits d'autres espèces.

L'ÉLEVAGE CAPRIN

● **Différentes races et groupes de chèvres**

La chèvre (*Capra aegagrus hircus*) a été domestiquée pendant le néolithique au Moyen-Orient, plus de 7 000 ans avant J.-C, près de 1 500 ans après le mouton.

En Afrique de l'Ouest, deux groupes de chèvres sont distingués. Au nord, les chèvres du Sahel¹ sont de grande taille, le corps allongé, les membres longs et fins, le poil ras. Le profil de la tête, la longueur et le port des oreilles, les cornes et la couleur de la robe varient selon le lieu. Ces chèvres sont sensibles à la trypanosomose. Les chèvres naines du Sud² sont de taille petite ou moyenne, le profil de la tête est rectiligne ou légèrement concave, le corps trapu, les membres courts et musclés, le poil ras. Elles tolèrent généralement la trypanosomose et peuvent vivre plus au sud dans des zones humides et infestées de glossines.

Dans le centre et l'est de l'Afrique, on peut distinguer les chèvres de savane³, les chèvres naines⁴ et les chèvres croisées. Parmi les chèvres d'Afrique du Nord, on peut distinguer une chèvre de type sahélien⁵, de petites chèvres de savane⁶, des chèvres nubiennes⁷ et des chèvres syriennes⁸.

1 Chèvres du Sahel, Guera, Maure, Touareg, Foulbé et Arabe.

2 Djallonké, Djougre, Peul du Mali, Mossi, chèvre de Maradi, Kirdi et Naine du Congo.

3 Soudanaise, Zaghawa, Shukria, Somali, Benadir.

4 Rwanda-Burundi, Southern Sudan, Nilotique, Nubian, Abyssiniennes, Arabe, Small East African.

5 Makatia.

6 Chèvre Nord-africaine, Baladi.

7 Sudanese Nubian, Mzabite, Zaraibi.

8 Sinaï d'Égypte.

Dans toute l'Afrique, on rencontre aussi des chèvres d'origine européenne de race pure ou croisées : Alpine, Saanen et Poitevine élevées pour le lait, chèvre angora originaire de Turquie exploitée pour ses poils (mohair). Les races européennes introduites en zones tropicales, en particulier les laitières, s'adaptent mieux en altitude où le contexte climatique, sanitaire et alimentaire est moins sévère.

● La reproduction

L'âge à la première mise bas varie entre onze et seize mois suivant les races. Les caprins sont en général plus précoces que les ovins (cf. tableau 6). Les intervalles entre mise bas sont compris entre huit et neuf mois, ce qui indique une faible saisonnalité. Les variations saisonnières du contexte alimentaire jouent un rôle important : la saison de pluies entraîne un pic de fécondations qui provoque un pic de naissances en début de saison sèche (jusqu'à 70 % des naissances de décembre à mars, saison sèche fraîche en zone sahélienne).

Les taux de fertilité (80 à 180 %) et de fécondité sont en général, dans un milieu donné, supérieurs de 20 à 30 % chez les caprins par rapport aux taux des ovins (cf. tableau 6).

Les races européennes introduites en zone tropicale restent saisonnées, mais le sont moins, et présentent des anomalies, avec des cycles sans ovulation.

Tableau 6. Performances de reproduction comparées des ovins et des caprins au Nord-Cameroun (d'après Bouchel *et al*, 1999)

	Ovins	Caprins
Age moyen à la première mise bas	18 mois	15 mois
Intervalle entre mise bas	9 mois	9 mois
Taux de fécondité	120	150
Taux de prolificité	122	160

● Les productions

Les caprins sont élevés surtout pour la viande et le lait. Le lait de chèvre est moins riche en matière grasse et en protéines que le lait de brebis : respectivement 35 et 30 g par kg). Il peut être utilisé pour fabriquer des fromages frais ou de type feta ou bien à pâte pressée.

Les caprins fournissent aussi des peaux et des poils. La peau de chèvre représente un sous-produit important dans de nombreux pays. Plusieurs pays africains (Maroc, Somalie, Ouganda, Nigeria) et asiatiques (Inde, Pakistan) en exportent ainsi des quantités importantes. Cette peau donne diverses qualités de cuir dont le *glazed kid*, de première qualité. La chèvre de Maradi, originaire du Niger, est réputée pour sa peau. Fine et serrée, elle est recherchée sous le nom de *peau de Sokoto* pour la maroquinerie de luxe, la ganterie, le vêtement façon daim, le glacé et le velours pour chaussure.

Le poil de chèvres ordinaires peut servir à faire des feutres bon marché ou des tapis. Le *mohair*, produit par la chèvre Angora, est un poil long d'une blancheur éclatante.

Après filature, il sert à fabriquer des velours, des tapis, des doublures, des peluches, des fourrures artificielles, etc. De Turquie, la chèvre Angora a été introduite en Afrique du Sud, au Kenya, à Madagascar et au Maroc entre autres. Le *cachemire* est une autre fibre très réputée issue de la chèvre, venant surtout de la Chine et de l'Inde et achetée surtout par les Etats-Unis, le Royaume-Uni et le Japon. Il sert à confectionner des vêtements féminins, des pulls, des écharpes, des pardessus, etc.

● La production laitière

La production de lait de chèvre représente 1,6 % de la production globale de lait dans le monde. Le tableau 7 donne des indications sur la production en viande et en lait de quelques races africaines.

Tableau 7. Production de viande et de lait de quelques races caprines d'Afrique

Races	Poids de naissance (kg)	Poids vif adulte (kg)		Rendement en viande (%)	Production de lait (kg)	Durée de lactation (mois)
		Femelle	Mâle			
Chèvre du Sahel	2,5-3	25-35	30-50	40-47	70-180	4-6
Chèvre Maure	-	25-40	30	49	-	4,5
Chèvre Arabe	-	35	40-50	42-43	80	4-6
Chèvre Djallonké	1,2-1,5	15-30	20-30	44-60	35	2,5-4,5
Chèvre de Maradi	1,7	20-35	25-35	45-50	150	6-7
Chèvre Rwanda-Burundi	1,5-2,5	25-35	35-40	-	60-80	3,5
Chèvre Angora	3	30-45	45-55	48-52	35-70	4-5,5

En zone tropicale, les productions laitières se situent le plus souvent en dessous de 100 litres par lactation, et sont très inférieures à celles des races de zone tempérée dans leur milieu (500 à 800 litres en sept mois).

En Afrique, la conduite de la traite par l'éleveur est souvent raisonnée en fonction de ses besoins domestiques et non pas en prévision des besoins des jeunes, indépendamment en particulier de la taille de la portée. Au Sahel tchadien, par exemple, le prélèvement moyen est de 0,3 litre par jour et de 34 litres par lactation.

● La croissance et la production de viande

Globalement, les races locales ont une croissance faible, plus lente que celle des ovins ; par exemple, pour les races sahéliennes 60 à 80 g de gain journalier jusqu'à quatre mois contre 70 à 130 pour les ovins, 10 à 30 g/jour de 4 à 18 mois contre 25 à 60. Les poids adultes sont en général plus faibles chez les caprins.

Pour des caprins de race Djallonké (naine d'Afrique de l'Ouest), en milieu villageois en Afrique de l'Ouest, on a estimé une productivité de 7 à 11 kg de jeunes sevrés par femelle et par an. La productivité potentielle extériorisée en élevage intensif est plus élevée : 39 kg de jeunes sevrés par femelle et par an. Pour des caprins en Afrique de l'Est, en zone où la mouche tsé-tsé sévit peu, et sans traitement, la productivité a été évaluée à 13,2 kg de jeunes sevrés par femelle et par an.

Les races européennes introduites connaissent, une fois les problèmes d'adaptation résolus, des performances intermédiaires entre celles exprimées dans leur milieu d'origine et celles des races locales.

Tableau 8. Besoins alimentaires quotidiens des caprins

	Poids vif (kg)	Energie (UFL)	Matières azotées (MAD en g)	Calcium (g)	Phosphore (g)	Vitamine A (UI / kg PV)	Vitamine D (UI / kg PV)
Entretien	10	0,43	30	0,7	0,5	200	6
	20	0,50	35	1,0	0,6		
	30	0,57	40	1,5	0,9		
	40	0,64	45	2,0	1,2		
	50	0,71	50	2,5	1,5		
	60	0,78	55	3,0	1,8		
Entretien + croissance (gain: 150 à 175 g/j)	3-5	0,50	85	2,0	1,3	200	6
	8-9	0,70	120	2,7	1,7		
	14-15	0,85	140	2,8	1,8		
	19-20	0,92	145	2,9	1,9		
	24-25	0,95	135	3,2	2,0		
	29-30	0,97	120	3,2	2,0		
	33-35	1,05	105	3,2	2,0		
Gestation 4 ^{ème} mois		Entretien + 0,25	Entretien + 20	Entretien + 1,5	Entretien + 1,8	Début: 250 Fin: 700	
Lactation par kg de lait							
à 3 % MG		0,32	50	4	3	600	
à 4 % MG		0,36	55	4	3	600	
à 5 % MG		0,40	60	4	3	600	

● La gestion du troupeau

Les caprins sont souvent laissés libres de divaguer. Ils se nourrissent d'herbes des bords des chemins, de résidus de culture laissés dans les champs et de ligneux. Quand la pression démographique augmente et que les cultures sont plus importantes, les chèvres sont attachées au piquet ou même confinées. Cela a souvent pour effet de dégrader l'état des animaux. Bien conduits, notamment en zéro-pâturage, les caprins peuvent faciliter une meilleure intégration de l'agriculture et de l'élevage, en valorisant les fourrages ligneux et les résidus de culture, tout en produisant de la viande et du fumier pour fertiliser les cultures. Quand ils sont productifs, ces élevages permettent de diversifier les revenus, en particulier ceux des femmes, et de sécuriser l'économie des petites exploitations.

Dans le cas de système avec divagation, si les animaux reviennent régulièrement près de la concession, on peut inciter les éleveurs à fournir un abreuvement régulier, une complémentation alimentaire en saison sèche à partir de produits locaux⁹ et une complémentation minérale (pierres à lécher). Pour les caprins mis à l'attache, il est important de placer les chèvres à l'ombre, de leur laisser une surface pâturable suffisante¹⁰ et de les complémentation. Pour ceux qui sont en claustration permanente, la conception et l'entretien du logement sont essentiels.

⁹ Feuilles, sous-produits agricoles, déchets de cuisine.

¹⁰ Corde assez longue et changement d'emplacement régulier.

● Les principaux risques sanitaires¹

Comme pour les ovins, la mortalité des caprins avant un an, et en particulier avant trois mois, est très élevée (jusqu'à 50 % des effectifs). La combinaison d'une prophylaxie des mères contre ces maladies et d'une complémentation alimentaire modérée (100 à 200 g par jour) permet d'abaisser ces taux de mortalité en dessous de 20 %. Chez les adultes, ce taux peut être de 10 à 12 % par an. Les maladies les plus redoutables sont la peste des petits ruminants, la trypanosomose, les maladies respiratoires et les maladies parasitaires.

La *peste des petits ruminants* (PPR) est une maladie contagieuse due à un virus spécifique. Elle provoque des pertes considérables dans les troupeaux non vaccinés (souvent 25 à 50 % des effectifs). La maladie entraîne la mort des chèvres les plus infectées en huit à dix jours.

Les *maladies respiratoires* sont dues à des virus (PPR), des mycoplasmes (Péripneumonie contagieuse caprine – PPCC) ou des bactéries (*Pasteurella*, *Hemophilus*, etc.).

La *trypanosomose* est transmise par des glossines présentes en zone humide et le long des cours d'eau. Certaines races de chèvres sont trypanotolérantes.

Les *parasites* internes et externes sont très répandus en zone tropicale sèche et humide. Les helminthes les plus courants chez les chèvres sont les nématodes. *Haemonchus contortus* est le plus dangereux. Ce strongle digestif affecte les jeunes animaux à la saison des pluies en provoquant des diarrhées. Dans certaines zones, les tiques représentent un problème majeur. Elles jouent un rôle direct et un rôle indirect, transmettant des maladies graves comme la cowdriose. La gale peut sévir de façon importante en zone humide.

La résistance aux maladies infectieuses et parasitaires est liée à un contact prolongé (trypanotolérance par exemple). Il existe une variabilité génétique dans la résistance : la sélection d'animaux résistants après infestation expérimentale contrôlée est théoriquement possible.

L'ÉLEVAGE CAMÉLIN

Les camélidés regroupent les grands camélidés de l'Ancien Monde¹² et les petits camélidés des Andes¹³. Seul le dromadaire¹⁴ occupe le continent africain. Les effectifs sont mal connus, mais on estime officiellement la population mondiale de dromadaires à 20 millions de têtes dont plus de 80 % en Afrique. Il est vraisemblable que cet effectif soit largement sous-estimé, notamment en Afrique.

Adapté aux régions arides et semi-arides, le dromadaire vit essentiellement dans les pays d'Afrique du Nord (Maghreb et Mashreq) ainsi que les pays sahéliens depuis le Sénégal jusqu'au Kenya. Près de 60 % de la population caméline africaine est concentrée dans les pays de la Corne de l'Afrique : Somalie, Soudan, Ethiopie, Kenya, Djibouti.

¹¹ Cf. chapitre 66.

¹² Dromadaire et chameau de Bactriane.

¹³ Lama, guanaco, alpaga et vigogne.

¹⁴ *Camelus dromedarius*.

● Les races et groupes de chameaux

Il n'existe pas de races bien définies chez le dromadaire, même si on identifie clairement des types selon l'usage : format des animaux de trait plutôt bréviligne, format des animaux de selle plutôt longiligne. La sélection est principalement naturelle et la variabilité génétique apparaît faible. Toutefois les éleveurs reconnaissent des races associées à des espaces géographiques déterminés. Au total, un peu plus d'une cinquantaine de races sont décrites dans la littérature. À noter que le chameau de Bactriane peut s'accoupler au dromadaire et donner naissance à un hybride interspécifique appelé *turkoman* et réputé pour ses capacités de bât. En 1998, des chercheurs ont réussi à obtenir par insémination artificielle le *cama*, hybride intergénérique entre le lama et le dromadaire.

● Les grands systèmes d'élevage

Il existe grossièrement trois grands types de systèmes d'élevage camélins.

● Les systèmes pastoraux extensifs

De loin les plus répandus, les systèmes pastoraux extensifs sont basés sur l'utilisation d'espaces à faible productivité, mis en valeur par le déplacement aléatoire ou régulier des troupeaux à la recherche des meilleurs pâturages à proximité des points d'abreuvement.

L'élevage pastoral, surtout lorsqu'il concerne des grands troupeaux, s'accompagne souvent de l'éclatement du cheptel en unités de production bien différenciées. Le dromadaire est une espèce à cycle long, affectée d'une forte mortalité juvénile, de croissance lente, de puberté tardive et globalement de productivité faible. Son élevage peut être considéré comme une activité à *risques*. Les chameliers ont développé trois types de stratégies pour sécuriser l'élevage des dromadaires :

- > *la répartition des risques dans l'espace* par la mobilité des troupeaux (transhumance ou nomadisme) permet d'éviter une trop grande dépendance du cheptel vis-à-vis des aléas climatiques, mais aussi politiques ;
- > *la répartition des risques entre espèces* ; le cheptel camélin, à cause des délais nécessaires à sa reproduction, est un capital difficilement mobilisable pour les besoins quotidiens, aussi les élevages de camélidés sont-ils rarement monospécifiques ;
- > *la répartition des risques dans le temps* en confiant des animaux à des proches, ce qui autorise les propriétaires à multiplier les zones d'élevage et donc à diluer les risques, et oblige les bénéficiaires d'un animal confié à restituer ultérieurement celui-ci ou un équivalent afin qu'une partie du cheptel initial se reconstitue rapidement.

● Les systèmes agro-pastoraux semi-intensifs

Comme auxiliaire de l'agriculteur, notamment oasien, ce sont les performances du dromadaire au travail qui sont recherchées : travaux agricoles pour tirer l'araire ou la herse, exhaure de l'eau, extraction de l'huile, transport des produits agricoles. Au Maghreb, on utilise souvent un dromadaire apparié à un âne pour tirer l'araire. En Inde, le dromadaire constitue la principale source d'énergie paysanne pour transporter tout ce que l'agriculteur achète, produit et vend.

Dans ce contexte, les troupeaux sont généralement de plus faible taille et une complémentarité alimentaire est assurée, notamment au moment des travaux agricoles. Dans les systèmes oasiens, les échanges avec le système pastoral nomade peuvent être importants et une partie du troupeau des sédentaires (en particulier les jeunes animaux) est susceptible de partager la vie pastorale avant d'être utilisée à des fins agricoles. La force, l'endurance, un caractère calme étant les principales qualités recherchées pour les activités agricoles, les systèmes agro-pastoraux ont plutôt sélectionné des animaux médiolignes ou brévilignes, reconnaissables à leur robustesse et à leur placidité.

● Les systèmes intensifs

Depuis quelques années, les grandes agglomérations de la zone saharienne et subsaharienne ont vu se développer un système camélin laitier périurbain basé sur l'intensification de la production : système sédentaire, complémentarité alimentaire importante, intégration économique. Recherché par les populations musulmanes, le lait de chamelle est paré de vertus diététiques qui en font un produit de qualité à un prix attractif. En revanche, les tentatives d'embouche intensive de dromadaires en vue d'obtenir une production de viande de qualité restent fort limitées. Bien que très particuliers, on peut intégrer dans les systèmes intensifs, les élevages d'animaux de course, très populaires dans les pays du Golfe.

● La reproduction et les jeunes

● La reproduction

L'ovulation de la chamelle est provoquée par l'accouplement. Le mâle présente une saison sexuelle (rut) pendant laquelle il manifeste un comportement particulier : protrusion du voile du palais, sécrétion des glandes occipitales, perte d'appétit, blâtement, agressivité. La castration peut être pratiquée à partir de trois ans. L'insémination artificielle et le transfert d'embryons sont possibles, mais avec des résultats inférieurs à ceux obtenus chez les bovins. Ces techniques sont surtout utilisées dans les pays du golfe arabe.

Tableau 9. Paramètres de la reproduction

Âge à la puberté	2 à 4 ans
Âge à la première mise bas	3,5 à 7 ans
Durée de l'accouplement	7 à 35 minutes
Durée de la gestation	370 à 390 jours
Taux de fécondité annuel d'un troupeau extensif	30-35 %
Taux de gémeauté	0,4 %
Intervalle entre 2 mises bas	15 à 36 mois
Anoestrus de lactation	4-5 mois
Durée de la carrière de reproduction	10 à 15 ans
Nombre de naissances par carrière	3 à 7

● L'élevage du jeune

Le taux de survie du jeune apparaît faible (en moyenne 70 % à six mois), notamment dans les systèmes pastoraux. La diarrhée du chamelon est la principale cause de mortalité. Le sevrage est peu stressant pour l'animal et peut débiter dès trois mois. En milieu traditionnel, un sevrage tardif (10-12 mois) est fréquent. La croissance varie selon les systèmes de production : 190 à 310 g/j de gain moyen quotidien en milieu traditionnel ; jusqu'à 750 g/j dans des systèmes intensifs. Le colostrum de la chamelle est particulièrement riche en antimicrobiens (lactoferrine, lysozyme) et en immunoglobulines. Il doit donc impérativement être donné au jeune. La présence du chamelon facilite la traite et augmente la production laitière (jusqu'à 65 %).

● Les productions

Avec des productions laitières moyennes de 650 à 3 000 litres par an, la chamelle présente une productivité supérieure à la vache dans les mêmes conditions climatiques. La part prélevée par le chamelon est de l'ordre de 55 %. Le lait de chamelle est en moyenne plus faible en matières grasses que le lait de vache mais le taux de matières azotées est comparable. Cependant, les globules gras du lait de chamelle sont de très petite taille (1,2 à 4,2 μ de diamètre) et restent en suspension même après 24 h au repos, d'où la difficulté à baratter le lait de chamelle pour en extraire le beurre. Sa richesse en vitamine C (25 à 100 mg/kg) et en acides gras polyinsaturés lui confère des vertus diététiques reconnues. Mais sa transformation en fromage reste difficile.

Peu utilisée pour l'autoconsommation, la viande de dromadaire fait l'objet d'un marché actif des zones sahéliennes (Mali, Niger, Tchad, Soudan, Ethiopie, Somalie) vers les pays côtiers (Algérie, Tunisie, Libye, Egypte, pays de la péninsule arabique), suscitant des bassins d'embouche caméline. Le rendement carcasse est comparable à celui des bovins mais, à cause de la concentration du gras dans la bosse, les qualités diététiques de la viande de dromadaire sont supérieures.

Le dromadaire est le prototype de l'animal multi-usage. Outre la production de lait et de viande, il procure sa force de travail aussi bien pour le transport des hommes (selle) et des marchandises (bât) que pour les activités agricoles (labour, noria). Il s'avère aussi puissant que le cheval et aussi endurant que le bœuf. Les meilleurs animaux de course sont capables d'atteindre des vitesses moyennes de 40 km/h.

Le dromadaire est aussi utilisé pour sa laine (environ 5 kg par animal par an) et, dans la Corne de l'Afrique, pour son sang prélevé par saignée sur l'animal vivant. À cela s'ajoutent les cuirs, les peaux et le fumier (les excréments peuvent aussi être utilisés comme combustible).

● L'alimentation du dromadaire

Animal des zones arides et semi-arides, le dromadaire est adapté à une alimentation à base de fourrages pauvres, qu'il valorise mieux que les autres herbivores grâce à des mécanismes physiologiques adaptés (recyclage de l'urée, métabolisme énergétique proche des monogastriques, stockage des minéraux). La digestibilité comparée d'une paille de brousse est supérieure de 5 points chez le dromadaire par rapport au mouton. Cet écart augmente encore en cas de déshydratation.

Le comportement ambulatoire du dromadaire, sa sélectivité des plantes halophytes ou riches en azote et sa préférence pour les fourrages ligneux le prédestinent à une survie dans les milieux aux maigres ressources naturelles : en moyenne, on compte 20 hectares de pâturages naturels pour affourrager un dromadaire.

Dans les systèmes intensifs, la ration alimentaire peut comprendre une part importante de concentrés et de sous-produits. Toutefois, du fait de sa capacité de recyclage de l'azote et des risques de toxicité, il faut éviter les rations enrichies en urée. La consommation de matière sèche chez l'adulte varie entre 2,3 et 3,4 kg par 100 kg de poids vif. Les besoins d'entretien du dromadaire adulte sont estimés à 1,2 unité fourragère (UF) par 100 kg de poids vif (20 % en plus en cas de déplacement). Les besoins azotés d'entretien sont estimés à 90 g de protéines brutes par 100 kg de poids vif. Les besoins en eau sont de 6 litres par 100 kg de poids vif dans les conditions difficiles, et diminuent de moitié dans les conditions favorables. En saison des pluies, l'animal peut donc cesser de boire si les fourrages sont suffisamment humides.

Le dromadaire supporte des teneurs en sel très élevées dans la ration ; ses besoins en minéraux sont comparables à ceux des autres herbivores ; en revanche, il présente un métabolisme particulier des éléments-traces : faiblesse de la zincémie, stockage élevé du sélénium.

● La santé du dromadaire

Le dromadaire présente souvent une symptomatologie frustrante et le diagnostic des maladies s'en trouve malaisé. Le recours à des analyses de laboratoire est donc souvent utile, bien que difficile dans les conditions de terrain. Par ailleurs, du fait de particularités métaboliques déjà évoquées, il importe d'être prudent sur l'usage des médicaments par simple extension des recommandations pour d'autres ruminants.

Le dromadaire apparaît peu sensible à un ensemble de grandes maladies infectieuses du bétail comme la peste bovine, la fièvre aphteuse ou la pasteurellose. En revanche, les maladies charbonneuses, la fièvre de la Vallée du Rift, la tuberculose ou la brucellose peuvent affecter épisodiquement les troupeaux de dromadaires.

Le dromadaire est par ailleurs sensible à de nombreuses autres maladies bactériennes, virales, parasitaires et nutritionnelles. Quatre grandes maladies dominent, tant par les taux de mortalité ou morbidité consécutifs que par les impacts sur la production. Il s'agit :

- > d'une maladie hémoparasitaire, la trypanosomose (plus connue sous le nom traditionnel de *surra* par les pasteurs) due à *Trypanosoma evansi*, parasite transmis par des insectes piqueurs tels les stomoxes ;
- > d'une maladie ectoparasitaire, la gale, due à *Sarcoptes scabiei*, acarien non spécifique qui dégrade la qualité de la peau et réduit sa valeur économique (100 % des animaux peuvent être affectés dans certains troupeaux confinés des systèmes périurbains) ;
- > du parasitisme gastro-intestinal, essentiellement dû à *Haemonchus longistipes* (une étude réalisée en Ethiopie a montré que 92 % des animaux étaient affectés) ;
- > d'une maladie virale à tropisme cutané, la variole caméline due au *camel pox virus* mais pour laquelle il existe désormais plusieurs vaccins.

Bibliographie

Les ovins

- CHARRAY J., COULOMB J., HAUMESSER J.B., PLANCHENAULT D., PUGLIESE P.L., 1980. *Les petits ruminants d'Afrique Centrale et d'Afrique de l'Ouest : Synthèse des connaissances actuelles*. IEMVT, Maisons-Alfort, 295 p.
- LANCELOT R., FAYE B., JUANÈS X., NDIAYE M., PÉROCHON L., TILLARD E., 1998. *La base de données Baobab : un outil pour modéliser la production et la santé des petits ruminants dans le systèmes d'élevage traditionnels au Sénégal*. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 51(2) : 135-146
- RICHARD D., AKAKPO J., Edit. scientif., 1996. *Ovins doc : Système multimédia sur la production et la pathologie ovine en Afrique tropicale*. CD ROM, AUELF-UREF, Paris/ CIRAD-IEMVT, Montpellier, France.

Les caprins

- BOUCHEL D., KOUSSOU M 1999, in CORAF/WECARD, CIRAD 1999 - *Projet régional de recherche sur les petits ruminants : Synthèse scientifique* – éditeurs : Maxime Banoïn Université A. MOUMOUNI, Niger ; ABOUBAKAR NJOYA IRAD, Cameroun - VOUNPARET ZEUEH, LRVZ FARCHA, Tchad, DIDIER BOUCHEL, CIRAD-IEMVT: 51-69.
- BOURZAT D., WILSON T.R., 1989. *Principaux aspects zootechniques de la production des petits ruminants dans les systèmes agropastoraux du Yatenga (Burkina Faso)*. Etudes et synthèses de l'IEMVT, CIRAD-IEMVT, Maisons-Alfort, n° 31, 145 p.
- DEVENDRA C., BURNS M., 1983. *Goat production in the tropics*. Farnham Royal, UK. C.A. Bureaux, 183 p.
- LE GAL O., PLANCHENAULT D., 1993. *Utilisation des races caprines exotiques dans les zones chaudes*. CIRAD, 261 p.
- SMITH O.B. (ed.), BOSMAN H.G. (ed.), 1988. *Production caprine dans les pays tropicaux humides [Goat production in the humid-tropics]* ENG; FRE. Wageningen (NLD), PUDOC, 187 p.

Les camélins

- FAYE B., 1997. *Guide de l'élevage du dromadaire*. SANOFI, Santé nutrition animale, 126 p.
- FAYE B., MEYER C., MARTI A., 1999. *Le dromadaire. Références bibliographiques, guide de l'élevage et médicaments*. Cédérom CIRAD-IEMVT.

L'élevage des autres herbivores

À partir d'une contribution de D. Richard (CIRAD)

L'ÉLEVAGE DES ÉQUIDÉS

Les populations et les effectifs d'équidés sont très variables d'un pays à un autre dans les régions tropicales et sub tropicales. En Afrique, l'Éthiopie, avec 2 750 000 chevaux, possède 56,5 % de l'effectif du continent, et, avec quatre autres pays possédant plus de 200 000 têtes, représente 81 % de cet effectif. Le cheval est présent surtout dans les zones sèches et les régions situées en altitude. Les contraintes pathologiques, principalement d'origine parasitaire, limitent ou interdisent son élevage en zones sub-humides et humides.

En Afrique, les ânes, avec près de 15 millions de têtes, sont un peu mieux répartis, mais toujours absents des pays à climat guinéen. Quant aux mules et mulets, au nombre de 1 350 000, ils sont présents presque exclusivement en Éthiopie et dans les pays d'Afrique du Nord.

Tous ces animaux sont élevés avant tout pour leur force de travail. Le cheval est utilisé comme animal de selle, de trait, quelques fois de bât. Sa force, en particulier sa vitesse de travail, sa maniabilité et sa longévité en font un animal recherché dans les zones sèches avec le développement de la culture mécanisée. Dans certaines sociétés, la propriété d'un cheval est très valorisante. Sa viande est très peu consommée dans les régions tropicales du fait d'interdits religieux édictés par l'Islam et par la religion orthodoxe (Éthiopie).

L'âne et le mulet sont élevés pour le bât, le trait et le transport de personnes. Le premier est largement utilisé dans les zones arides, mais les agriculteurs des zones sub humides en acquièrent de plus en plus souvent. Les mulets sont surtout élevés dans les régions montagneuses, à cause de leur résistance et de leur qualité de marche dans les zones rocailleuses.

En zone tropicale, nombre de chevaux sont de petit format avec une hauteur au garrot inférieure à 1,50 m et un poids dépassant rarement 400 kg. L'âne, relativement homogène dans les zones arides, a un poids adulte compris entre 110 et 150 kg.

Peu d'études ont été menées sur les équidés. Les rares observations montrent des petits effectifs de chevaux et d'ânes, le plus souvent intégrés à l'exploitation et associés à d'autres animaux domestiques. Les quelques rapports disponibles sur les populations de chevaux mentionnent souvent une proportion plus élevée de juments.

● **La reproduction**

Le cycle sexuel de la jument dure en moyenne 21 jours. Il existe des variations importantes liées au poids des animaux, à leur état physiologique, ou à des facteurs climatiques, éventuellement à des pathologies. La période de reproduction a tendance à être saisonnée : fin de saison sèche, saison des pluies, début de saison sèche. La gestation de la jument dure onze mois en moyenne, un an chez l'ânesse. Une jument peut être saillie à l'âge de deux ans, mais il est préférable d'attendre trois ans. Elle peut supporter deux gestations successives (saillie possible dans le mois suivant la mise bas). Dans la pratique, cela semble rarement le cas. Soit l'éleveur contrôle la reproduction (contrôle des étalons, remise en état de la jument), soit la jument rencontre des problèmes physiologiques (état médiocre de l'animal, maladies). Les rares données sur la fertilité des juments indiquent un taux supérieur à 50 %.

Les mâles ne sont pas castrés dans les élevages traditionnels. Ceci peut rendre difficile une amélioration génétique.

● **La production laitière et la croissance**

● **La production laitière**

Le lait de jument possède une teneur moyenne en matière sèche de 110g/kg. Il est peu riche en matières grasses (15 g/ kg) et en matières azotées (20 g/kg). En revanche, il est très riche en lactose (60 g/kg). Le lait d'ânesse est proche de celui de la jument.

Cette composition a pour conséquence une valeur énergétique peu élevée du lait (475 kcal/l : 0,22 UFC/l). Les besoins énergétiques et azotés sont néanmoins importants car la jument assure une production élevée de lait.

Le lait est destiné aux poulains, aucune tradition de traite des juments n'étant rapportée en zone tropicale. Les poulains sont souvent sevrés à l'âge de six mois.

● **La croissance du poulain et de l'ânon**

La croissance du poulain est rapide. Il atteint classiquement entre 50 et 75 % de son poids adulte à l'âge d'un an. Toutefois, il n'existe quasiment pas d'observations précises sur la croissance des poulains et pouliches en région tropicale.

La croissance de l'ânon est également rapide. À deux ans et demi, il atteint presque le poids adulte.

● **Le travail**

Le cheval développe une force moyenne estimée au septième de son poids durant quatre à six heures. Il est capable d'effectuer un travail plus important que le bœuf, à une vitesse plus élevée (entre 3 et 4 km/h pour les travaux agricoles) et peut fournir de gros efforts au démarrage. C'est un animal privilégié sur les sols légers en zone sèche car il permet d'effectuer des semis rapides après les premières pluies.

Le dressage débute à l'âge de deux ans. Pour les animaux destinés uniquement à la selle, le dressage est souvent pratiqué dès un an.

● Les systèmes d'alimentation

Les chevaux sont laissés le plus souvent en vagabondage le jour, et sont entravés pour ne pas trop s'éloigner des habitations. Ils consomment donc beaucoup de résidus de culture et quelques herbacées des zones de parcours.

La complémentation est une pratique fréquente à certains stades physiologiques : jument en fin de gestation, en lactation, poulain au sevrage, chevaux utilisés pour la monte ou le travail. Selon les régions, elle porte sur un apport de fourrage de moyenne ou bonne qualité (fanés d'arachide par exemple) ou de céréales (mil, sorgho). Dans certaines régions, les sous-produits et résidus de bonne qualité (fanés d'arachide) sont distribués en priorité aux chevaux.

● Les besoins alimentaires

Les recommandations pour les chevaux de trait sont présentées dans les tableaux 1 et 2 pour des animaux en état moyen (notes d'état corporel de 2 à 3) et pour des conditions climatiques non extrêmes. Elles sont présentées avec des unités propres au cheval : l'unité fourragère cheval (UFC), les matières azotées digestibles cheval (MADC). Les aliments ont également des valeurs énergétiques et azotées propres au cheval, qui a une utilisation spécifique des aliments.

Tableau 1. Recommandations pour les chevaux de trait

Poids vif (kg)	Type de besoin	UFC (unité/jour)	MADC (g/jour)
200	Entretien	2,1	150
	Travail léger	3,0	220
	Travail moyen	3,2	255
	Travail fort	3,4	290
300	Entretien	2,8	200
	Travail léger	4,2	295
	Travail moyen	4,5	340
	Travail fort	4,8	385
400	Entretien	3,5	250
	Travail léger	5,3	365
	Travail moyen	5,8	420
	Travail fort	6,2	480

Tableau 2. Recommandations en minéraux pour le cheval à l'entretien et au travail (en g/kg MS distribuée)

	Calcium	Phosphore	Sodium
À l'entretien	2,7	1,8	1,6
Au travail	2,7	1,8	3,5 à 4,1

Les rares études sur l'alimentation de l'âne montrent une physiologie digestive avec une meilleure dégradation des constituants membranaires, donc une meilleure utilisation et adaptation aux fourrages grossiers.

● La consommation d'aliments

Les quantités d'aliments consommés au repos ou au travail dépendent des aliments proposés, de l'intensité du travail et des conditions de milieu. Un cheval de 300 kg consomme 6 à 7,5 kg de matière sèche d'un fourrage vert, soit près de 30 kg d'un fourrage jeune d'une teneur en matière sèche autour de 20 %, alors qu'il consomme seulement 3,5 à 5 kg de paille de céréales. Lorsque la ration comprend un concentré, la quantité de fourrage ingéré diminue, mais la quantité totale de matière sèche augmente. Un cheval de 300 kg consomme autour de 7,5 kg de MS d'une ration comprenant 30 % de concentré.

Les aliments doivent être distribués plusieurs fois par jour, si possible en trois fois. Le fourrage doit être donné en plus grande quantité le soir, alors que le concentré peut être distribué en quantité constante. Trop de fourrages avant une période de travail demande une digestion longue qui peut gêner le cheval. L'alimentation doit être raisonnée en fonction du stade physiologique.

● L'abreuvement

La consommation d'eau dépend des conditions climatiques, de la teneur en matière sèche ingérée (plus les aliments consommés sont secs, plus les besoins en eau sont élevés) et des productions. En période de travail, les animaux doivent être abreuvés plusieurs fois par jour, au moins trois fois. À l'entretien, un cheval boit un volume proche de 3,5 litres d'eau par kg de matière sèche ingérée. Lorsqu'il travaille, cette quantité augmente d'un litre. Pour un cheval de 300 kg recevant une ration à base d'aliments secs (fourrages de saison sèche ou conservés, céréales ou sous-produits), la quantité d'eau bue est de 18 litres par jour pour l'entretien et monte à 33 litres en période de travail intensif.

● Les soins, l'hygiène et la santé

L'hygiène des chevaux doit être respectée, ce qui n'est pas toujours le cas. Les animaux doivent être nettoyés régulièrement, en particulier les chevaux de bât et de transport pour éviter les infections éventuelles entraînées par les harnachements. Les pieds doivent être taillés dans certains cas, le ferrage étant rarement pratiqué traditionnellement. Les logements doivent être propres, et donc nettoyés régulièrement. Les équidés sont sensibles à certaines pathologies infectieuses et parasitaires aux conséquences très variables. Parmi les maladies infectieuses, il faut citer :

- > *la lymphangite épizootique* caractérisée par des nodules cutanés et des abcès chroniques évoluant vers des ulcères. Elle apparaît surtout en cas de concentration des chevaux. Il n'existe pas de traitement efficace et l'abattage peut être conseillé. L'animal peut guérir dans certains cas, mourir dans d'autres. L'âne est rarement atteint ;
- > *la peste équine*, qui au-delà de ses effets pathogènes, interdit les mouvements d'animaux pour éviter la dispersion de la maladie. Transmise par des insectes piqueurs, elle apparaît de façon épisodique. Des vaccinations peuvent être pratiquées en prophylaxie régulière ou en périphérie de foyer : elles sont efficaces à condition de connaître le sérotype du ou des virus en cause ;

- > les *maladies respiratoires* dont la grippe équine ;
- > le *tétanos* ;
- > les *plaies infectées*, abcès qui font suite à des traumatismes provoqués par les harnachements.

Une partie de ces maladies peut être limitée par une bonne hygiène dans les conditions quotidiennes d'entretien des animaux.

Les maladies parasitaires touchent les équidés. Parmi elles, citons :

- > les *trypanosomoses*, maladies aux conséquences importantes chez le cheval et limitant sa présence dans les zones où sont présentes les glossines, insectes vecteurs des trypanosomoses les plus graves. L'âne est un peu plus résistant, mais reste sensible à certaines formes. Il existe plusieurs formes de trypanosomoses. Dans les zones arides, transmises mécaniquement par des insectes piqueurs hématophages, les formes sont chroniques à subaiguës. L'animal est fatigué, peut présenter des œdèmes provoqués par l'anémie. Des traitements efficaces existent. Dans les zones humides, la maladie peut prendre une forme aiguë et entraîner la mort. En Amérique latine, il existe une trypanosomose qui entraîne des troubles généraux et présente une forme cutanée et génitale ;
- > les *parasitoses gastro-intestinales*, très fréquentes chez les équidés, avec des conséquences variables sur l'état général et les performances des animaux. Les animaux peuvent recevoir des traitements réguliers ;
- > la *gale*, parasitose cutanée, signe d'un mauvais entretien et de soins hygiéniques insuffisants.

Au-delà de ces pathologies classiques, les équidés peuvent avoir des troubles fonctionnels dont les plus fréquents sont les boiteries, avec atteinte d'une partie d'un membre ou des sabots. Là aussi, les conditions d'entretien et d'usage des animaux sont très importantes pour éviter ces troubles.

L'ÉLEVAGE DES LAPINS

● Les systèmes d'élevage

L'intérêt du lapin est double :

- > *il est herbivore*. Avec des apports conformes aux besoins, il assure des rendements de transformation en protéines animales proches de ceux des volailles. Il peut utiliser et transformer en viande des fourrages, ce que ne peuvent assurer les poules et poulets ;
- > *il est très prolifique* avec trois à quatre portées ou plus par an, et trois à dix lapereaux par portée selon les races. La production est de vingt à quarante lapereaux par an ; bien alimentés, ils donnent entre 20 et 45 kg de carcasse selon le poids vif à l'abattage.

Cet élevage est cependant peu développé en zone tropicale. La consommation de viande de lapin reste inférieure à 25 g/an/habitant, avec de rares exceptions (Afrique du Sud, Ghana, Nigeria, Philippines) où les consommations restent comprises entre

100 et 450 g/an/habitant. En revanche, certains pays du pourtour méditerranéen ont une production élevée.

Ce faible développement tient à certaines difficultés et précautions nécessaires pour limiter les effets de la chaleur sur les animaux, et à l'absence de tradition de consommation de cette viande, malgré la consommation de rongeurs sauvages dans certains pays. Le développement de l'élevage cunicole doit aller de concert avec des campagnes de sensibilisation à l'intérêt alimentaire de cette viande.

C'est en effet un élevage qui permet une production rapide de viande. Des projets de développement ont diffusé divers systèmes de production allant du petit élevage intégré à l'exploitation à des systèmes d'élevage industriel avec un nombre de lapines variant de 100 à 500.

Le lapin est un animal *émotif*, très sensible aux changements. Par ailleurs, l'introduction rapide de géniteurs de races étrangères très productives n'est pas évidente à maîtriser.

Dès que le producteur veut évoluer vers une intensification, l'élevage demande une bonne technicité, un suivi rigoureux et une très grande régularité d'approvisionnement en intrants et dans l'entretien des animaux. Pour ces raisons, l'essentiel des élevages en zone tropicale est à ce jour de type familial, avec un petit nombre de lapines et de mâles. L'alimentation est à base de ressources locales : fourrages, tubercules, déchets végétaux de la cuisine familiale.

● **La reproduction**

Même si leur comportement sexuel est précoce, les mâles peuvent être utilisés comme reproducteurs à partir de 4,5 à 5 mois en moyenne, avec des variations dues aux races et aux conditions d'élevage, notamment à l'alimentation.

Les lapines peuvent débiter leur carrière de reproductrice entre quatre et cinq mois. Il faut éviter d'accoupler une lapine avant cet âge, même si physiologiquement une croissance rapide lors des premiers mois permettrait de le faire.

Contrairement à la plupart des mammifères domestiques, la lapine n'a pas de cycle œstral régulier. Elle est en oestrus plus ou moins permanent et fait partie des espèces dites à ovulation provoquée : l'ovulation se produit environ douze heures après l'accouplement, suite aux stimuli nerveux qui déclenchent les processus hormonaux entraînant la maturation des follicules. La lapine présente cependant des périodes où elle n'accepte pas l'accouplement, mais sur des temps irréguliers et non prévisibles. Elle a également la particularité d'accepter l'accouplement lors de la gestation et d'être fécondable à nouveau dès le lendemain d'une mise bas. Le diagnostic de gestation peut s'effectuer deux semaines après l'accouplement par palpation abdominale.

Le nombre d'ovules pondus varie généralement de quatre à treize. La gestation est de 31 jours et la taille des portées de trois à dix, les moyennes des élevages de bon niveau se situant entre sept et neuf lapereaux par mise bas. La prolificité est liée à la taille adulte. Les fortes chaleurs peuvent avoir un effet négatif sur les performances de reproduction. Dans les jours précédant la mise bas, la lapine prépare le plus souvent un nid avec ses poils et des petits matériaux.

Dans les élevages industriels, la technique de l'insémination artificielle peut être utilisée. Malgré son intérêt pour un progrès génétique rapide, elle n'est rentable qu'à la condition d'avoir une très bonne technicité.

Avec cette physiologie particulière des femelles, les systèmes de reproduction peuvent être régis de diverses manières allant d'un système intensif (accouplement dans les jours suivant la mise bas avec sevrage à quatre semaines) à un mode extensif (saillie après un sevrage à cinq-six semaines), avec un système intermédiaire qui correspond à un accouplement dix à vingt jours après la mise bas. En production intensive, l'alimentation doit être très suivie et correspondre aux besoins des lapines ; elle peut être conduite plus sagement dans le mode extensif.

● **La croissance**

Le lait de la lapine est concentré (la teneur en matière sèche est le double de celle de la vache) et très riche en matières grasses. La lapine allaite une seule fois par jour. S'il n'y a pas de saillie rapidement après la mise bas, la lactation est de cinq à six semaines. Elle diminue cependant à partir du 21^{ème} jour.

Les lapereaux commencent à consommer des aliments autres que le lait à partir de la troisième semaine. Cette consommation augmente rapidement. Le sevrage s'effectue lorsqu'ils sont âgés de quatre à six semaines.

Les croissances des jeunes, en bonnes conditions d'élevage et pour des animaux de races couramment utilisées en élevage industriel, s'établissent autour de 30 g/jour entre quatre et douze semaines. Dans ces conditions, l'abattage peut se faire entre 80 et 90 jours, avec des lapins d'un poids vif compris entre 1,7 et 2,4 kg selon les modes d'élevage et la demande des consommateurs, ce qui correspond à des poids carcasse de 1 à 1,4 kg.

Il faut considérer ces performances comme optimales. Elles sont intéressantes sur le plan économique si l'élevage est bien géré et l'alimentation bien adaptée et d'un coût peu élevé. Les performances observées sont cependant souvent inférieures en zone tropicale.

● **Le logement**

Le lapin domestique a un comportement assez proche de celui du lapin de garenne dont il est issu. L'éleveur devra donc faire attention aux points suivants :

- > *permettre aux animaux d'avoir un refuge*, car le lapin est sensible à tout changement. Dans un groupe, il existe un système d'alerte entre les animaux qui les conduit à se cacher. Il faut donc que les lapins puissent avoir un refuge ou qu'ils soient dans des conditions de tranquillité telles qu'ils n'en aient pas besoin. Il faut aussi laisser les animaux dans leur propre cage et limiter les changements ;
- > *isoler chaque adulte* pour éviter les agressions entre adultes et jeunes ;
- > *gérer, pour l'accouplement, les mouvements des femelles vers le mâle* et non l'inverse ;
- > *permettre à la lapine d'isoler sa portée* ;
- > *protéger les animaux des températures élevées.*

Dans les élevages industriels, il faut veiller à l'hygrométrie et assurer une certaine ventilation. De nombreuses variantes de cages existent et diverses modalités d'adaptation aux climats tropicaux ont été réalisées, tant pour en limiter les coûts que pour prendre en compte les conditions de milieu. L'éleveur et le technicien doivent être bien informés avant d'installer un élevage petit ou grand.

● **La génétique**

Lors de la mise en place d'un petit élevage, il est conseillé d'utiliser des animaux de race locale accoutumés au climat et possédant une certaine rusticité. Des races améliorées sont utilisées lorsque l'éleveur a acquis une technicité suffisante pour valoriser au mieux les capacités de croissance des animaux croisés ou des races pures importées.

Les principales races d'élevage sont différenciées en trois groupes : les races lourdes (adulte d'un poids supérieur à 5 kg), les moyennes qui sont les plus courantes en Europe (adulte entre 3,5 et 4,5 kg), et les légères (adulte entre 2,5 et 3 kg). Au-delà de la robe, chaque race est caractérisée par sa croissance et sa fécondité. En région tropicale où les programmes de sélection ont été rares, les croisements entre races locales et importées ont été les principales actions menées en génétique.

● **Les besoins alimentaires**

De par sa physiologie digestive et son comportement alimentaire, le lapin présente quelques particularités dont la principale est la coecotrophie. Dans son colon, il produit deux sortes de crottes qui ont des compositions très différentes : les unes dures, les autres molles (les coecotrophes), plus riches en protéines et en vitamines. Le lapin ingère les coecotrophes une fois par jour lors de leur émission.

Le lapin a la capacité de dégrader les fibres, mais en a une utilisation digestive limitée car le transit est rapide et une partie seulement de la cellulose peut être dégradée. La teneur en fibres pour les aliments destinés aux élevages industriels doit être comprise entre 12 et 15 %. Au-delà, les performances de l'animal sont réduites. Mais si les aliments plus riches en fibres sont d'un coût faible, il peut néanmoins être rentable d'y avoir recours. Une condition doit cependant être respectée : le rapport protéines/énergie doit demeurer constant (cf. tableau 3). La teneur en protéines des rations (cf. tableau 3) ne doit pas être inférieure à 12 % avec des apports indispensables de dix acides aminés. Le lapin ajuste sa consommation d'aliments à ses besoins énergétiques lorsqu'il ingère une ration équilibrée. Ce n'est plus le cas s'il y a excès ou diminution d'un des constituants. C'est un animal très sensible au goût des aliments.

Tableau 3. Composition recommandée des aliments pour différents stades de production des lapins en système intensif. La composition est donnée en g/kg MS et en kcal/kg MS

Constituants	Lapine allaitante	Aliment mixte(pour la mère et les lapereaux à l'âge de 4-6 semaines)	Lapereaux en croissance de 4 à 12 semaines	Mâle reproducteur
Protéines				
Brutes	200	190	180	145
Digestibles	150	140	130	105
Energie digestible (kcal)	3 000	2 900	2 800	2 450
Rapport PBD/ED (g/1000 kcal)	51	48	45	43
Teneurs recommandées en cellulose brute dont C.B. indigestible				
	135	160	160	175
	83	135	135	145
Teneurs en minéraux				
Calcium	13,5	12,4	4,5	4,5
Phosphore	5,6	6,7	3,4	3,4

La consommation de matière sèche varie beaucoup selon le stade physiologique. Elle est :

- > de 140 à 150 g MS/jour pour l'entretien d'un adulte de 4 kg ;
- > de 35 à 40 g MS à quatre semaines pour des lapereaux d'un poids vif de 500 à 600 g ;
- > voisine de 90 g MS à huit semaines pour des lapereaux d'un poids vif de 1,5 kg.

La femelle en lactation double sa consommation par rapport à la période de gestation (jusqu'à 100 g /kg vif et 250 g eau/jour). Les jeunes et la mère ingèrent donc des quantités élevées de matière sèche. Pour une lapine avec ses petits, il doit être prévu 1 à 1,4 kg d'aliment par jour. Les aliments doivent toujours être disponibles car le lapin a tendance à s'alimenter tout au long des 24 heures.

Le lapin est très résistant à la faim. Mais le moindre manque d'eau par rapport aux besoins entraîne immédiatement une diminution de la consommation des aliments, et en conséquence des performances. La mère allaitante connaît de gros besoins en eau. Il faut distribuer une eau de bonne qualité.

Les normes de conversion des aliments en zone tempérée vont de 3,4 (très bon élevage) à 3,8 kg d'aliments pour un kilo de poids vif, y compris l'alimentation des reproducteurs. Ce niveau élevé de production est difficile à atteindre en zone tropicale. L'effet de la chaleur diminue la consommation de matière sèche, ce qui a pour conséquence de réduire la croissance des jeunes. Des rations bien équilibrées ne sont pas toujours réalisables car l'éventail des matières premières est limité. Des productions économiquement intéressantes peuvent cependant être réalisées avec des indices de conversion suffisamment élevés si les aliments sont judicieusement choisis, en tenant compte de leur valeur nutritive et de leur coût. Dans ces conditions, un système de production artisanal avec peu de lapins est souvent préférable à une grosse unité mal gérée.

● **Les principaux risques sanitaires**

Le lapin est sensible à de nombreuses affections d'origine infectieuse et parasitaire. Parmi les maladies infectieuses importantes, il faut citer la myxomatose qui peut provoquer une forte mortalité. Elle peut être évitée par des vaccinations. La principale maladie parasitaire est la coccidiose. Au-delà de ces maladies d'étiologie bien connue, les pathologies du lapin, principalement localisées au niveau des appareils digestif et respiratoire, proviennent de modifications de l'environnement qui déséquilibrent la physiologie normale et provoquent ainsi le développement de germes infectieux ou de parasites.

Le jeune lapin de quatre à douze semaines est extrêmement sensible aux modifications de son tube digestif, facilement perturbé par des changements de régime et par le stress qui peuvent provoquer une affection. Au départ, cela se traduit par une diarrhée, puis par une modification importante de la physiologie intestinale, et selon l'hygiène de l'environnement proche, par la prolifération d'une flore pathogène.

Préciser la nature des diarrhées n'est pas toujours évident. Elles peuvent être non spécifiques : simples troubles dus à une agression extérieure ou à un changement de régime. Parmi les causes spécifiques, les colibacilles sont fréquents, ainsi que les coccidies.

Il existe divers traitements curatifs. Il vaut mieux prévenir ces diarrhées par une chimioprévention (anticoccidien), et surtout par le maintien de bonnes conditions d'hygiène et l'absence de stress.

L'autre grande pathologie du lapin porte sur l'appareil respiratoire. Les diverses maladies se caractérisent par un jetage évoluant vers un coryza et dans certains cas une pneumonie. Ces affections sont souvent dues à des changements de température, une mauvaise ventilation, de la poussière, etc. Un des principaux agents infectieux est une pasteurelle. Des traitements existent, des vaccinations sont rares mais possibles ; mais là aussi, il est essentiel de prévenir par une bonne hygiène.

Diverses maladies parasitaires cutanées comme la gale ou les maux de pattes sont le résultat d'un mauvais entretien des animaux et de l'élevage.

L'hygiène de l'environnement au sens large conditionne la santé des animaux quel que soit leur âge. Il faut donc veiller au respect de règles simples d'hygiène et à leur grande régularité. Il est par ailleurs conseillé de faire régulièrement un vide sanitaire qui casse le cycle des agents pathogènes et permet de faire repartir l'élevage sur des bases saines.

Bibliographie

Les équidés

FIELDING D., PEARSON. Ed. 1991. *Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development*. University of Edinburgh, CTVM, 336 p.

LHOSTE PH. 1986 - *L'association agriculture-élevage. Evolution du système agro-pastoral au Sine-Saloum (Sénégal)* ; Etudes et synthèses de l'EMVT, Maisons-Alfort, N° 21, 314 p.

MARTIN-ROSSET W. Ed. 1990. *L'alimentation des chevaux*. INRA, Paris, 232 p.

RICHARD D., THOMAS L. 1996. *L'alimentation* in LE THIEUX Ed. *Agriculture africaine et traction animale*; CIRAD, Montpellier, collection Techniques, 121-147.

Les lapins

FIELDING D., 1993. *Le lapin*. ACCT, CTA, Collection «Le technicien d'agriculture tropicale»- Maisonneuve et Larose, Paris, 144 p.

INRA, 1984. *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. INRA, Paris, 282 p.

LEBAS F., COUDERT P., DE ROCHAMBEAU H., THEBAULT R.G., 1996. *Le lapin, élevage et pathologie*. OAA-FAO, Rome, 227 p.

7 **2**

L'élevage des monogastriques non herbivores

7.2.1 L'élevage porcin

7.2.2 L'aviculture



L'élevage porcin

À partir des contributions de D. Bastianelli (CIRAD),
L. Derail (CIRAD) et S. Klotz (CIRAD)

Lorsqu'il est mené dans des systèmes extensifs en divagation, l'élevage porcin pose de nombreux problèmes : difficulté de maîtrise des conditions sanitaires des animaux, transmission de zoonoses, contrôle impossible de la reproduction et de l'amélioration génétique, pollution des zones de parcours par les déjections, destruction de cultures, etc. L'élevage en systèmes clos permet de s'affranchir de ces contraintes si les conditions d'élevage sont bonnes, et s'il est possible de récupérer les effluents d'élevage servant d'amendement organique de bonne qualité.

Ce chapitre est volontairement axé sur les techniques d'élevage dans des systèmes *hors-sol* semi-intensifs ou intensifs, avec séparation de différents stades physiologiques. Même si les techniques à mettre en œuvre sont différentes dans des élevages de dimension plus modeste, la majorité des principes énoncés restent valables. La dernière partie de ce chapitre comporte en outre des informations spécifiques à l'élevage porcin de type *traditionnel*.

LES RACES, LES SOUCHES, LES CROISEMENTS

● *Les races*

La race désigne des animaux appartenant à une même espèce, qui possèdent un certain nombre de caractères communs et jouissent de la faculté de transmettre ces caractères à leurs descendants.

On distingue d'une part les races européennes et américaines, d'abord utilisées en races pures et aujourd'hui surtout utilisées à des fins de croisement, et d'autre part les races locales, terme recouvrant une variété importante de types généralement de plus petit format, adaptés aux conditions et habitudes des endroits où il sont élevés et moins productifs. L'élevage intensif concerne seulement les animaux de races sélectionnées ou issus de croisement. En effet, les performances limitées des génotypes locaux ne permettent pas de rentabiliser des investissements et des aliments coûteux. Toutefois, lorsqu'une alimentation locale peu onéreuse est disponible, l'élevage de ces animaux plus rustiques est souvent pratiqué.

● Les croisements

La production porcine fait largement appel aux croisements entre races différentes afin de bénéficier de l'effet d'hétérosis, notamment sur les performances de reproduction : amélioration de la productivité des truies (taille de portée, rythme de reproduction, obtention de porcelets plus résistants entre la naissance et le sevrage, etc.). On distingue plusieurs types de croisements.

● Le croisement simple entre races pures

Il consiste à croiser des reproducteurs de deux races pures différentes. Tous les produits sont destinés à l'abattage. La race de la truie est choisie pour ses qualités maternelles, celle du verrat est choisie en fonction du type de porcs charcutiers à produire. Ce type de croisement fait bénéficier de l'hétérosis sur les caractères qui touchent la portée après la naissance. Il est le plus facile à gérer pour l'éleveur. Par exemple un croisement entre un verrat Piétrain et une truie Large White.

● Le croisement à double étage

Il est très répandu et fait intervenir une truie croisée avec un verrat qui peut être de race pure ou croisé. On cumule dans ce cas deux sources d'hétérosis : celui sur les porcelets et celui sur les aptitudes maternelles.

Exemples de croisement avec une truie croisée Large White et Landrace (LW x LR)

Utilisation d'un verrat de retour LW ou LR : le produit terminal sera $(LW \times LR) \times LW$, soit 75 % LW et 25 % LR ou $(LW \times LR) \times LR$, soit 25 % LW et 75 % LR. Ce type de croisement donne de bons résultats pour les performances de reproduction et d'engraissement et des résultats moyens en qualité de carcasse en l'absence de lignée mâle spécialisée.

Utilisation d'un verrat d'une troisième race : la race du verrat est différente de celle de la truie croisée et apporte de la conformation. On utilise particulièrement le LR belge, le Piétrain, le Hampshire. Le produit terminal sera, en cas d'utilisation du Piétrain (P) : $(LW \times LR) \times P$, soit 25 % LW, 25 % LR et 50 % P. Ce type de croisement donne d'excellents porcs charcutiers.

Utilisation d'un verrat croisé : ce type de croisement (croisement à quatre voies) est actuellement très répandu. On peut utiliser des verrats qui n'interviennent pas dans la constitution de la truie (Hampshire x Piétrain, Duroc x Piétrain) ou qui y interviennent ($LW \times P$) ou encore qui sont issus de lignées composites.

● Les croisements alternatifs ou rotatifs

Ils sont utilisés pour assurer l'autorenouvellement des cochettes dans certains élevages. Par exemple on accouple des truies croisées $LW \times LR$ à des verrats LR. À la génération suivante, les truies $(LW \times LR) \times LR$ sont accouplées à des verrats LW et ainsi de suite. En phase d'équilibre, la composition génétique des truies varie entre deux tiers LW + un tiers LR, et deux tiers LR + un tiers LW.

LES PERFORMANCES

Les performances dépendent bien entendu des races ou des croisements utilisés. Il n'existe pas de standard général pour les races locales, nombreuses et variées, mais on peut donner des chiffres pour les croisements industriels. (cf. tableau 1). *Ces chiffres obtenus dans des conditions optimales d'environnement et d'alimentation, doivent servir seulement de repères et d'objectifs pour l'amélioration.*

Tableau 1. Performances obtenues pour les croisements industriels

Activité naisseur		Activité engraissement	
Porcelets sevrés/ truie/an	18 - 22	% pertes et saisies	3 - 6 %
Nés vifs/portée	10 - 12	IC technique 7-25 kg	1,7 - 2
Sevrés/portée	9 - 11	GMQ moyen 7-25 kg	380 - 420 g/j
Âge au sevrage	28 j	Age à 25 kg	70 - 80 j
Intervalle entre mises bas (pour un sevrage à 28 j)	150 - 160 j	IC technique 25-105 kg	3,0 - 3,2
Intervalle sevrage/saillie fécondante (ISSF)	8 - 15 j	GMQ moyen 25-100 kg	660 - 720 g/j
Âge à la 1ère mise bas	370 - 400 j	Age à 100 kg	170 - 190 j
Âge réforme	36 - 40 mois	Taux de muscle	54 - 60 %
Activité globale naisseur engraisseur			
Porcs sortis/truie/an	17 - 19		
Consommation d'aliment/truie/an	800 - 1 200 kg		
IC global de l'élevage	3,1 - 3,4		

Pour l'activité *naisseur*, les résultats annuels dépendent fortement des intervalles entre les mises bas, et donc de la durée d'allaitement et de l'ISSF (intervalle sevrage/saillie fécondante). L'âge au sevrage est souvent supérieur (35 voire 42 jours) dans des conditions difficiles ou si un aliment post sevrage de très bonne qualité n'est pas disponible. L'ISSF constitue une des principales composantes de la productivité numérique.

LES BÂTIMENTS ET LE MATÉRIEL

Les bâtiments d'une porcherie doivent être conçus de façon à obtenir le meilleur compromis entre l'expression optimale des performances des animaux et des coûts d'investissement réduits. Le logement doit répondre à toutes les conditions du bien-être animal et notamment :

- > protéger les porcs du soleil, de la chaleur, des vents violents et des pluies ;
- > permettre une bonne ventilation et une maîtrise des conditions d'ambiance, d'hygiène et de nettoyage ;
- > offrir un espace de vie suffisant pour les animaux ;
- > séparer les animaux d'âge et de stades physiologiques différents ;
- > permettre de nourrir et d'abreuver les porcs sans gaspillage ;
- > rationaliser les tâches de l'éleveur dans la conduite du troupeau : alimentation, gestion de la reproduction, amélioration génétique, etc.

En production porcine, les investissements pour les bâtiments sont souvent coûteux. Les besoins doivent donc être précisément mesurés selon le type de production envisagé, la taille de l'élevage et le niveau de spécialisation. Un surdimensionnement des locaux ou du matériel non adapté rendent inévitablement l'élevage moins rentable.

● **La conception des bâtiments**

L'élevage doit comporter des secteurs, salles ou bâtiments spécialisés, quelles que soient sa conception et son niveau d'intensification, soit en unités de production regroupées (*tout sous le même toit*), soit en unités spécialisées :

- > maternité ;
- > post-sevrage (PS) ;
- > engraissement ;
- > verraterie, truies en gestation, saillies ;
- > futurs reproducteurs ;
- > quarantaine ;
- > locaux techniques : atelier, bureau, infirmerie.

● **Les installations préconisées**

La maternité

Pour la mère :

- > hauteur des cloisons intérieures inférieure à 60 cm permettant le passage de l'air ;
- > ventilation statique autorisant le passage de l'air le jour et se fermant la nuit ;
- > cage de mise bas (si elle existe) conçue de façon à permettre l'accès à toutes les mamelles ;

Pour les porcelets :

- > présence d'un nid à porcelets pour éviter les écrasements ;
- > sol confortable – caoutchouc ou paille –, sec et propre ;
- > dispositif de chauffage nécessaire dans certaines régions : à la naissance, il faut une température de 28-30°C dans la loge des porcelets ;
- > reste de la loge : caillebotis si possible.

Le post-sevrage

- > système de distributeur/nourrisseur qui évite la compétition et le gaspillage ;
- > gisoir confortable ;
- > système d'évacuation des déjections (pente, caillebotis) ;
- > local sans courant d'air ;
- > lampe chauffante pendant la nuit en saison des pluies et en altitude (jusqu'à 10-15 kg).

L'engraissement

Cette phase ne pose pas de problèmes particuliers en zone tropicale. Cependant, les performances diminuent si la densité d'animaux est trop forte : on recommande environ 1 m²/porc en fin de croissance mais la densité doit être diminuée dans des conditions climatiques sévères (forte chaleur ou chaleur humide). Il faut :

- > éviter les parties non couvertes et les zones ensoleillées dans les loges pendant les heures chaudes de la journée ;
- > une hauteur de toit de 2,50 m minimum, avec un système d'évacuation d'air chaud en milieu de toiture ;
- > une séparation entre loges en barreaux métalliques pour le passage de l'air ;
- > un sol en caillebotis (recommandé).

L'attente de la saillie, la verraterie

Le sol doit être propre, sec et non glissant dans le local saillie. Les loges des verrats doivent être sécurisées pour éviter les bagarres entre mâles.

Les gestantes

Les conditions sont identiques à celles de la salle d'attente de la saillie. Il faut prévoir une surface de 3 à 4 m² par animal pour les truies en groupe.

● Les matériaux

Le bois

De faible prix et facile à utiliser, il présente néanmoins des inconvénients : il est difficile à nettoyer en profondeur, il constitue un réservoir pour les divers micro-organismes et les parasites et il peut être traumatisant : échardes et aspérités à haut pouvoir de pénétration dans la peau.

Le ciment

Il est souvent utilisé pour la confection des sols. Il présente de grands avantages pour le nettoyage ; toutefois une surface de mauvaise qualité peut entraîner :

- > des problèmes dermatologiques et des arthrites chez les porcelets lorsque la texture est abrasive ;
- > des chutes lorsque le revêtement devient glissant avec l'eau et les déjections.

● La récupération et le traitement des lisiers

● Les quantités produites

La quantité de lisier produite par chaque porc varie selon la conduite du troupeau : lavage, alimentation (en soupe, en sec, etc.).

Cependant, on peut évaluer très globalement la quantité d'effluents produits dans un élevage à l'aide de la formule suivante :

Quantité d'effluent produite (litres/jour) = quantité de lisier (urine + fèces) + quantité d'eau utilisée pour le lavage

Avec : quantité de lisier (litres/jour) = nombre d'animaux x poids vif moyen (en kg) x 0,05.

Le coefficient 0,05 correspond à la production totale de lisier (fèces : 0,02 et urines : 0,03). On compte en général un poids vif moyen de 55 kg/animal pour un élevage naisseur-engraisseur.

La quantité d'eau de lavage utilisée peut être estimée par : débit du tuyau x temps de lavage (le débit du tuyau est facilement estimé en mesurant le temps de remplissage d'un récipient de contenance connue).

● La composition

Pour bien gérer l'utilisation du lisier, il faut en connaître la valeur fertilisante. Le premier facteur à connaître est la teneur en matière sèche qui conditionne fortement la concentration en minéraux. On voit dans le tableau 2 que le mode de production et de stockage des effluents influe sur leur composition. Il en est de même pour l'éventuelle dilution par des eaux de ruissellement.

Tableau 2. Valeur fertilisante du lisier (kg/t de MS)

	% MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Lisier brut				
Lisier mixte (fosse de stockage)	4,9	4,3	3,8	2,6
Lisier porc engraissement (porcherie)	9,3	9,6	4,0	6,4
Fumier âgé de 4 mois				
Litière raclée en engraissement	27,8	9,1	10,9	11,2
Litière accumulée en engraissement	21,0	7,9	7,6	12,7
Litière accumulée en post sevrage	29,2	9,9	7,4	10,5
Fumier composté âgé d'un an				
Litière raclée en engraissement	41,0	14,0	24,8	21,6
Litière accumulée en engraissement	41,6	13,1	17,7	25,0

● Les systèmes d'évacuation et de stockage des lisiers

Le système d'évacuation des lisiers doit être étanche vis-à-vis de l'extérieur. Le lisier ne doit jamais être directement évacué dans le milieu naturel sous peine de nuisances olfactives et de pollutions importantes pour l'environnement. L'élevage sur caillebotis, l'utilisation optimale des surfaces par les animaux, le nettoyage raisonné des sols,

l'alimentation biphasé et sous forme de soupe constituent autant de facteurs diminuant les volumes de lisier produits.

En l'absence de caillebotis, il est préférable d'effectuer un raclage quotidien et un nettoyage à l'eau hebdomadaire pour diminuer les quantités d'effluents.

Le stockage des lisiers peut être réalisé :

- > sous le bâtiment : fosses de 1,2 à 2 m de profondeur, sous les caillebotis, avec une distance entre le niveau du lisier et la partie supérieure des préfosse au minimum de 40 ou 50 cm ;
- > dans des fosses enterrées ou semi-enterrées ;
- > dans des cuves hors-sol couvertes ou non.

Le volume de stockage nécessaire est déterminé par le volume de déjections produites et par le temps de stockage.

● Les traitements envisageables

Les procédés de traitements disponibles visent à réduire les odeurs, diminuer la charge polluante et abaisser les teneurs en azote et en phosphore du lisier au cas où la surface d'épandage disponible n'est pas suffisante.

Les différents systèmes de traitement actuels des effluents de porcherie sont les traitements biologiques anaérobies ou aérobies, et les traitements physico-chimiques par séparation de phase ou compostage.

L'ALIMENTATION

L'alimentation des porcs varie avec les différents stades physiologiques des animaux : gestation et allaitement des truies, porcelets, porcs à l'engrais, cochettes et verrats.

On présente ici les élevages de races améliorées ou de croisements. Les objectifs de performances des races locales sont différents, et il faut donc adapter les recommandations alimentaires selon leur poids vif, leur vitesse de croissance et la composition de leur carcasse.

● Les besoins des animaux

Les animaux ont notamment besoin :

- > *d'énergie* ; les besoins et les apports sont exprimés en énergie digestible (ED), métabolisable (EM) ou nette (EN). L'expression en EN est plus précise si l'on dispose de valeurs fiables pour les aliments, faute de quoi l'expression en ED est préférable et souvent mieux documentée. Lorsqu'on doit calculer approximativement une valeur à partir de l'autre, on peut utiliser les coefficients suivants : $EM = 0,96 ED$; $EN = 0,71 ED$. Le besoin énergétique est en partie lié à la température ambiante ; il dépend aussi bien entendu du type d'animal¹ et de sa production². Pour ces raisons, les valeurs moyennes des besoins doivent être adaptées aux performances réelles des animaux ;

¹ Poids, stade physiologique.

² Coût énergétique de la croissance pondérale et de la lactation.

- > *de protéines*, avec un besoin global en MAT mais surtout un besoin en chacun des acides aminés essentiels : lysine, acides aminés soufrés (méthionine et cystéine), parfois thréonine et tryptophane. Pour être plus proche des besoins réels des animaux, on raisonne souvent en acides aminés *digestibles* au lieu des acides aminés *totaux*, mais ce mode d'expression n'a d'intérêt que si on a des données fiables sur toutes les matières premières employées ;
- > *de minéraux* : calcium, phosphore et oligo-éléments, dont les besoins dépendent très largement du stade physiologique ;
- > *d'autres nutriments* : les fibres sont indispensables pour réguler le transit, notamment chez la truie ; l'équilibre de l'aliment en acides gras détermine en partie la qualité du gras de la carcasse (trop d'acides gras insaturés dans l'aliment rendent le gras animal mou), etc.

Le tableau 3 donne des valeurs indicatives pour les besoins des animaux, sachant que ces besoins doivent ensuite être adaptés aux animaux et aux ressources disponibles.

Tableau 3. Besoins en énergie digestible (kcal)

Porc en croissance	entretien : 260 kcal x PV ^{0,6} croissance : 5,9 kcal par gramme de croît
Truie en gestation	entretien : 110 kcal x PV ^{0,75} tissus maternels et fœtaux : 45 kcal/jour pour chaque kg fixé pendant la gestation
Truie en lactation	entretien : 115 kcal ED x PV ^{0,75} lactation : (710 kcal x GMQ de la portée (en g/j) – (130 kcal x nb de porcelets)

Tableau 4. Exemples d'aliment-types à utiliser aux différents stades

	Porcelet 1 ^{er} âge	Porcelet 2 ^{ème} âge	Porc en croissance	Porc en finition	Truie en gestation	Truie en lactation
ED (1) Kcal/kg	3 500	3 300	3 200	3 200	3 000	3 100
EN Kcal/kg	2 500	2 350	2 270	2 270	2 140	2 200
MAT %	21	18	16,5	15	14	16
Lysine (2) %	1,47	1,22	0,96	0,83	0,6	0,85
Lysine (g/1 000 kcal ED)	4,2	3,9	3	2,6	2	2,8
Ca %	1,15	1,05	0,9	0,8	1,05	0,8-1,0
P total %	0,85	0,75	0,55	0,5	0,55	0,7
P disponible %			0,3	0,25	0,27	0,35
CB %	3-3,5	3-4	3-5	3-5	5-7	3,5-6

(1) le niveau énergétique peut varier de 3 200 à 3 600 kcal/kg en 1^{er} âge et de 3 000 à 3 500 kcal/kg en 2^{ème} âge. Il importe cependant que les autres nutriments soient augmentés ou diminués en proportion de l'énergie. Chez les animaux plus âgés, on évite des teneurs trop élevées en énergie qui peuvent favoriser une surconsommation et un engraissement trop fort.

(2) les autres acides aminés sont classiquement exprimés par rapport à la lysine :

Lysine : 100 ; méthionine : 30 ; méthionine + cystine : 60 ; thréonine : 65 ; tryptophane : 18.

● Les apports des matières premières et la formulation

La formulation des aliments consiste à trouver une combinaison de matières premières satisfaisant les besoins des animaux à moindre coût. Pour effectuer cette optimisation, il faut disposer d'informations précises sur la valeur nutritionnelle des matières premières. Or, si ces informations sont souvent très abondantes pour les ingrédients utilisés de façon standard dans les pays du nord, il n'en est souvent pas de même avec les matières premières disponibles localement. Il importe donc, pour les matières premières les plus sensibles³, de rassembler autant d'informations que possible et même de procéder à des analyses pour caractériser correctement les produits disponibles. Les tables d'alimentation sont nombreuses, mais pas toujours adaptées. Il faut en compiler une grande quantité pour trouver les chiffres les plus pertinents.

Un exemple de table avec les valeurs d'énergie digestible pour les porcs est donné au tableau 5. Il regroupe, pour des matières premières classiquement disponibles dans les pays tropicaux, des données provenant de nombreuses sources. Le tableau 6 donne le profil en acides aminés de diverses matières premières. À partir de la simple connaissance du taux de MAT, on peut ainsi estimer la teneur en acide aminé de chaque aliment.

Tableau 5. Table d'alimentation avec les valeurs d'énergie digestible pour les porcs et les volailles.
Composition en g/kg brut

Résultat	Humidité	MM	MAT	MG	CB	NDF	ADF	CaP total	P	EM coq	ED porc	
									disponible			
Mais	860	13	85	38	23	97	28	0,2	2,5	0,5	3 330	3 550
Mil	880	31	111	35	62	54	22	0,4	2,9	0,6	3 060	3 250
Sorgho	880	20	98	30	25	96	42	0,5	2,9	0,5	2 980	3 470
Manioc	870	37	24	7	36	88	46	2,3	1,6	0,5	2 940	3 190
Niébé	900	38	227	18	50	138	50	1,3	3,4	1,1	2 740	3 380
Son blé	870	54	152	37	96	365	108	3,1	10,1	5,7	1 620	2 440
Son riz artisanal	870	122	97	84	154	305	170	0,7	8,4	1,0	1 920	2 010
Son riz dégraissé	900	127	153	21	118	130	212	0,9	12,3	1,4	1 770	2 220
Tourteau de soja standard	880	61	447	16	61	127	74	3,3	6,3	0,9	2 380	3 420
Tourteau arachide industriel	900	51	477	13	114	211	137	1,5	5,9	0,6	2 420	3 300
Tourteau arachide artisanal	880	48	408	149	45	111	76	1,1	5,7	0,6	3 170	4 050
T. Coton	900	67	414	26	118	256	165	1,7	10,0	1,0	1 760	2 930
T. Coprah	900	65	219	22	141	540	300	1,3	5,8	0,5	1 330	3 070
T. Palmiste	900	40	164	60	146	636	351	2,8	6,1	0,5	1 820	3 180
Farine de poisson												
industrielle standard	910	187	606	65	-	-	-	58,0	33,0	28,2	2 730	3 120
Farine de poisson artisanale	900	255	509	89	-	-	-	55,0	26,0	23,4	2 680	3 080
Huile	990	-	-	989	-	-	-	-	-	-	9 000	8 420
Coquillages	960	935	-	-	-	-	-	345	0,6	0,5	-	-
Os calciné	950	885	28	2	-	-	-	330	150	125	-	-
Carbonate de Ca (CaCO ₃)	950	810	-	-	-	-	-	360	-	-	-	-
Phosphate bicalcique	950	905	-	-	-	-	-	220	170	155	-	-

MM : matières minérales. MAT : protéines brutes. MG : matières grasses. CB : cellulose brute. NDF : Neutral Detergent Fiber. ADF : Acid Detergetn Fiber.

³ Les plus variables ou les plus importantes dans un contexte donné.

Tableau 6. Profil en acides aminés de diverses matières premières (% MAT)

	LYS	MET	MET+CYS	TRY	THR	GLY+SER	LEU	ILEU	VAL	HIS	ARG	PHE+TYR
Maïs	2,9	2,1	4,5	0,7	3,5	8,6	12,3	3,6	4,9	2,9	4,5	8,4
Mil	3,5	2,6	5,9	1,8	4,0	8,0	9,8	4,8	5,4	2,7	5,0	8,2
Sorgho	2,4	1,7	3,6	1,0	3,4	8,3	13,6	4,2	5,1	2,3	3,9	9,0
Niébé	7,1	1,6	2,8	0,8	3,7	9,2	7,1	3,5	4,2	2,9	6,1	8,4
Sous produits du blé	4,2	1,6	3,7	1,4	3,4	9,3	6,1	3,3	4,8	2,7	6,7	6,3
Sous produits du riz	4,7	2,3	4,3	1,1	3,8	10,4	7,3	3,8	6,0	2,8	8,2	8,4
Soja (1)	6,2	1,4	2,9	1,3	3,9	9,2	7,5	4,8	4,9	2,6	7,5	8,4
Arachide (1)	3,4	1,0	2,3	1,0	2,6	10,2	6,2	3,4	4,1	2,3	11,4	8,3
Coton (1)	4,0	1,5	3,2	1,2	3,3	8,2	5,8	3,3	4,6	2,7	10,6	7,8
Coprah (1)	3,1	1,5	3,0	0,7	3,1	8,4	6,2	3,5	5,5	2,2	12,2	7,0
Palmiste (1)	3,6	1,7	3,8	1,0	3,3	9,5	6,3	3,7	5,4	2,6	13,8	6,2
Farine de viande	5,1	1,3	2,4	0,6	3,2	17,0	5,9	2,9	4,2	1,9	6,8	5,6
Farine de sang	9,2	1,1	2,1	1,3	4,6	9,4	13,1	1,1	8,7	6,2	4,3	9,9
Farine de poisson	7,5	2,8	3,7	1,0	4,2	10,5	7,3	4,4	5,1	2,4	5,9	6,9

(1) Et sous produits.

La formulation des régimes pour les porcs peut se faire simplement à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel spécialisé, dès lors que l'on dispose de données adaptées sur les matières premières et sur les besoins des animaux. On peut également formuler un complémentaire à partir d'un régime de base constitué par exemple de manioc, de son, de bananes, etc., on peut calculer quelle doit être la composition d'un aliment complémentaire qui apporte les éléments que l'animal n'a pas trouvés dans la ration de base.

Tableau 7. Exemple : porc en croissance alimenté avec manioc (1,3 kg/j) + complémentaire (porc de 50 kg, objectif de GMQ¹ (750 g/j, consommant en priorité le complémentaire (0,7 kg)

	Besoin quotidien animal	Apport manioc (1,3 kg)	Apport nécessaire par complémentaire	Composition du complémentaire (distribution 700 g)
ED	6 300 kcal	4 150 kcal	2 150 kcal	3 070 kcal / kg
MAT	328 g	31 g	297 g	42,4 %
Lysine	18,9 g	1,3 g	17,6 g	2,5 %
Méthionine + cystéine	11,3 g	1,2 g	10,1 g	1,4 %
Thréonine	12,3 g	1,0 g	11,3 g	1,6 %
Ca	16 g	3,0 g	13,0 g	1,9 %
P total	9 g	2,1 g	6,9 g	1,0 %
Prémix 1 %	1 % de la ration complète (soit 19 g)	0	19 g	2,71 %

¹ Gain moyen quotidien.

Cet aliment complémentaire est relativement facile à fabriquer avec des tourteaux et de la farine de poisson par exemple. Il faut utiliser des acides aminés de synthèse pour équilibrer le régime.

Attention dans ce type de calcul à bien calculer les quantités de complément minéral et vitaminique (CMV) nécessaires. Par exemple ici, le CMV est prévu pour couvrir les besoins de l'animal en étant incorporé à 1 % du régime complet distribué ; il devra donc représenter 1 % de 1,9 kg (1,2 kg de manioc et 0,7 kg de complément) soit 19 g. Comme le manioc n'en contient pas, il convient de l'incorporer à un taux de $19/700 = 2,71\%$ dans le complémentaire.

● Le rationnement

Les femelles peuvent généralement être alimentées à volonté, elle ne risquent pas un engraissement trop fort. Le rationnement des mâles castrés dépend des objectifs de croissance et des caractéristiques de carcasse recherchées ; le porc castré a en effet tendance à surconsommer et à engraisser plus rapidement. Ce phénomène justifie un élevage séparé des sexes quand cela est possible. Pour les femelles, on peut distribuer l'aliment *croissance* à volonté, tandis que pour les mâles castrés, on a généralement intérêt à faire un rationnement (de 10 à 15 % inférieur à l'ingéré à *volonté*) afin de minimiser l'indice de consommation et de maximiser le taux de muscle. Pour les croisements les plus performants, cette précaution est moins nécessaire car la propension à l'engraissement est moins marquée.

● Les additifs

Les minéraux et vitamines sont apportés par le CMV (complément minéral et vitaminique) aussi appelé *prémélange* ou *prémix*. Un certain nombre d'autres substances peuvent être incorporées dans l'aliment.

Les facteurs de croissance, généralement des antibiotiques à faibles doses, sont utiles notamment dans les aliments pour porcelets (amélioration de GMQ et IC de 5 à 10 %). Ils sont souvent particulièrement efficaces en conditions difficiles. Ils agissent notamment par un rôle de *barrière antibactérienne* aidant à maintenir l'équilibre de la flore intestinale. L'utilisation des facteurs de croissance est réglementée, avec des règles différentes selon les pays. L'utilisation des antibiotiques à des teneurs plus élevées (parfois pratiquée dans des aliments pour porcelets) relève de la médecine vétérinaire.

Les probiotiques peuvent se substituer dans certains cas aux antibiotiques. Ils agissent par une inhibition des germes pathogènes en favorisant les germes non pathogènes.

Les acidifiants baissent le pH gastrique et favorisent l'action des enzymes digestifs en même temps qu'ils constituent une barrière contre certains microbes pathogènes (salmonelles par exemple). Ils sont surtout utilisés dans les aliments de sevrage. Ils permettent, dans une certaine mesure, de limiter les problèmes digestifs et contribuent à une meilleure utilisation digestive de l'énergie.

Certaines argiles et certains charbons de bois (activés = à faible granulométrie) peuvent avoir une action de régulation du transit. Ils jouent également un rôle de pansements digestifs qui aident à lutter contre des infections ou ulcères. Ils ont toutefois un rôle d'absorption de certaines substances toxiques qui ne sont ainsi pas absorbées par l'organisme. Ce phénomène peut être particulièrement intéressant dans le cas de toxines telles que les mycotoxines (aflatoxine).

● La présentation des aliments

Les granulés présentent des avantages par rapport à la farine. Ils permettent une manipulation plus facile et une diminution du gaspillage. Les performances sont améliorées par l'utilisation de granulés, tant sur le plan du GMQ que de l'indice de consommation. Ces avantages sont perceptibles en particulier chez le porcelet, mais interviennent également chez le porc en croissance. La granulation est néanmoins coûteuse et n'est pas toujours techniquement réalisable.

Une possibilité alternative chez le porc en croissance est la distribution sous forme de *soupe* : l'aliment est mouillé avec de l'eau dans une proportion de 2 à 3 litres d'eau par kg d'aliment. Les performances se situent à mi-chemin entre celles de la farine et du granulé. Si le mélange est bien fait, l'homogénéité peut être meilleure qu'avec la farine. Il faut néanmoins prendre un certain nombre de précautions :

- > ne pas trop diluer (la MS du mélange doit rester supérieure à 20 %) ;
- > limiter les refus (en ajustant les quantités distribuées), afin d'éviter une fermentation de l'aliment particulièrement rapide en climat chaud ;
- > effectuer un nettoyage soigneux ;
- > éviter d'alimenter les porcelets en soupe avant 15-20 kg de poids vif.

Dans des conditions artisanales d'exploitation (distribution manuelle d'aliment), la distribution en sec est nettement préférable.

● **La distribution de l'aliment**

● **La distribution sèche**

Elle peut être réalisée avec les systèmes suivants :

- > *nourrisseurs* : alimentation à volonté, remplissage manuel ou par des systèmes de transfert. Il faut compter une place à l'auge pour deux à trois porcs ;
- > *nourrisoupe* : nourrisseur monoplace avec tétine incorporée, qui réduit le gaspillage de l'eau. Il en faut un pour douze porcs charcutiers ou quinze porcelets ; il est essentiellement utilisé pour l'alimentation en libre service (à volonté) ;
- > « *turbomat* » (porcs charcutiers) : distribution programmée de trois ou quatre repas d'une à deux heures chacun. Un appareil pour vingt à vingt-cinq porcs.

● **La distribution en soupe**

La machine à soupe permet la préparation, le transport et l'alimentation dans les auges. Les quantités d'eau, d'aliment ou de matières premières entrant dans le mélange sont déterminées par pesée.

● **L'eau**

Le porc doit disposer librement d'eau propre et, si possible, fraîche. La présence d'eau favorise la consommation, notamment chez le jeune au moment du sevrage. Les besoins quotidiens en eau de boisson représentent environ 10 % du poids vif, soit :

- > 12 à 17 litres pour une truie en attente de saillie ;
- > 15 à 20 litres pour une truie gestante ;
- > 20 à 35 litres pour une truie allaitante ;
- > 0,2 à 0,4 litre pour un porcelet sous la mère ;
- > 1 à 6 litres pour un porcelet en post-sevrage ;
- > 4 à 12 litres (6 litres en soupe) pour un porc charcutier.

Les besoins augmentent avec la chaleur. Les animaux ne doivent jamais manquer d'eau : cela risque d'entraîner une sous consommation d'aliments, des problèmes urinaires ou rénaux, etc.

La distribution peut :

- > être manuelle dans les auges (seau, tuyau) ;
- > utiliser une auge avec niveau constant (dispositif de chasse d'eau) ;
- > utiliser un abreuvoir automatique ;
- > fonctionner de façon simultanée : aliment + eau (machine à soupe).

En général, il ne faut pas dépasser dix-huit animaux par abreuvoir (utilisation de bols) ou dix animaux (utilisation de sucettes), sachant que dans tous les cas il faut au moins deux points d'eau (pour le cas où l'un tomberait en panne).

LES PATHOLOGIES ET L'HYGIÈNE

La situation sanitaire en élevage porcin conditionne les performances, le bilan technique et économique de l'élevage. Le maintien d'une bonne situation sanitaire passe par le respect d'un certain nombre de règles :

- > la protection de l'élevage contre les contaminants extérieurs ;
- > l'application de mesures générales de prophylaxie sanitaire à l'intérieur de l'élevage ;
- > le respect d'un plan sanitaire d'élevage adapté.

● **La protection de l'élevage contre les contaminants extérieurs**

Elle consiste à prévoir un ensemble de mesures dans la conception et le fonctionnement de l'élevage pour éviter l'introduction d'agents pathogènes extérieurs à l'exploitation :

- > isolation de l'élevage par une enceinte : clôture, mur ;
- > contrôle strict des entrées : présence de sas (douche, lavabo), changement de tenue (bottes, combinaison), pédiluves, silos de stockage d'aliments extérieurs, quai d'embarquement ;
- > contrôle de la qualité de l'eau ;
- > présence d'un bâtiment de quarantaine pour l'introduction d'animaux. Ce bâtiment doit être situé à la périphérie de l'élevage, à l'opposé par rapport aux vents dominants ;
- > respect de la quarantaine : quinze jours d'observation et de surveillance, vingt-cinq à trente jours d'adaptation à l'élevage ;
- > lutte contre les hôtes indésirables : carnivores, rongeurs, oiseaux, insectes, etc.

● **Les mesures générales de prophylaxie sanitaire**

Ces mesures sont destinées à lutter contre la propagation de maladies à l'intérieur de l'élevage. Elles portent particulièrement sur :

- > le respect des conditions d'ambiance et de densité en animaux ;
- > l'évacuation régulière et contrôlée des effluents d'élevage et des cadavres d'animaux ;
- > la pratique de la conduite en bande si elle est possible ;
- > la réalisation des opérations de nettoyage et de désinfection moins de trente-six heures après le départ des animaux ;
- > l'utilisation de matériel propre et désinfecté pour les interventions sur les animaux ;
- > la mise en place rapide d'un traitement efficace (présence d'une pharmacie de base) et de mesures d'isolement des animaux (infirmerie) dès la détection d'une maladie ;
- > le respect d'une prophylaxie médicale générale adaptée au contexte sanitaire : soins aux porcelets à la naissance, injections de fer, lavage des truies, vermifugations⁴, vaccinations indispensables⁵, vaccinations selon la situation sanitaire de l'élevage⁶ et vaccinations selon la situation épidémiologique de la région d'élevage⁷ ;
- > le recours au laboratoire d'analyses, partenaire indispensable pour l'éleveur de porcs et le vétérinaire en cas de problèmes sanitaires difficilement identifiables par l'examen clinique.

● **Le plan sanitaire d'élevage**

L'application d'un plan sanitaire d'élevage (PSE) facilite la gestion et la conduite du troupeau ainsi que la maîtrise sanitaire. Le PSE est élaboré à partir des données pathologiques et épidémiologiques, des moyens prophylactiques et curatifs et de la structure des élevages d'une région : degré d'intensification, logement et environnement, technique d'élevage.

Des plans-types sanitaires d'élevage à adapter, contenant des mesures de base, sont donnés à titre indicatif aux tableaux 8, 9, 10 et 11.

4 En quarantaine pour les futurs reproducteurs, deux fois par an chez les truies et verrats, en fonction de la clinique et des examens coprologiques pour les porcs charcutiers.

5 Parvovirose et rouget pour les cochettes et reproducteurs.

6 Rhinite atrophique, colibacillose.

7 Grippe, peste porcine classique, maladie d'Aujeszky, etc.

Tableau 8. Plan sanitaire d'élevage - mesures de base pour les truies

Période du cycle de production	Conditions d'élevage	Indications de la prescription	Type de traitement ou de prévention	Recommandations d'emploi
Pré-troupeau	Paille	Croissance Prévention arthrites et avortements	Cures minérales Vaccin rouget	Rappel à 5 mois
J 0 : saillie fécondante après confirmation gestation (J 30 en moyenne)	Local de gestation (température entre 20 et 25°C)		Cure minérale polyvalente	Administration mensuelle
J 90		Maladies néonatales précoces des porcelets Immunisation des mères	Vaccins spécifiques renfermant des antigènes correspondant au typage des germes	
J 100		Traitement antiparasitaire interne	Anthelminthique spécifique, après contrôle parasitaire	
J 108	Entrée en salle de mise bas	Toilette et déparasitage externe	Produit antiparasitaire externe	Eau tiède et brossage (ne pas oublier les oreilles)
J 110	Alimentation : apport de son : 500 g/j (3 j) puis 1 kg/j (2 j) puis 2 kg/j d'aliment (2 j)	Constipation	Lest alimentaire	
J 115	Mise bas Température ambiante optimale : 18 °C Nids à porcelets : 33° C le 1er jour – Calme - Diète – eau exclusivement Veiller à l'accouchement, à la libération des nouveaux-nés, à la tétée du colostrum	Lenteur du part ou expulsion difficile des placentas, prise de température de la truie 2 heures après mise bas Agitation chez les primipares	Ocytocine Lavage vaginal avec solution antiseptique à faible concentration	Pas de doses fortes (pas plus de 20 UI), à renouveler 2 heures après Précaution avec certaines souches (Piétrain et Landrace belge)
J 116	Répartir les porcelets en surnombre sous d'autres truies. Sacrifier les culots de portée	Si montée de lait insuffisante ou nulle	Ocytocine	Dans l'heure qui suit l'expulsion du dernier fœtus
J 120	Alimentation : augmenter la ration de la truie			
J X : sevrage	Diète hydrique - Séparation immédiate des porcelets		Sulfate de soude 150 g/truie. Vaccin rouget. Injection de vitamines A, D3, E.	
J X + 1	Régime alimentaire : 1/2 ration Ring de saillie	Arrêter la sécrétion lactée		
J X + 2 à 3	Ration : 2 - 2.5 kg en fonction taille de la truie	Traitement général antiparasitaire + vitamines	Anthelminthique Produit antiparasitaire externe éventuellement	
J X + 6 à 8		Absence d'oestrus à J 7	Stimulation hormonale : hormones hypophysaires et chorioniques	

Tableau 9. Plan sanitaire d'élevage - mesures de base pour les porcelets

Âge	Conditions d'élevage	Indications de la prescription	Type de traitement ou de prévention	Recommandations d'emploi
J 1	Température : 30°C Désinfection rapide du cordon ombilical, le raccourcir Couper queue (dernières vertèbres coccygiennes) et pointes des canines Répartir les porcelets en surnombre sous d'autres truies ayant récemment mis bas			
J 3		Prévention de l'anémie ferriprive	Injecter sels de fer Dextran (150 – 200 mg/tête) ou administrer fer buvable.	
J 10		Parasitisme précoce (Strongyloïdés)	Produits antiparasitaires spécifiques	Pâtes orales
J 10 à 15	Castration des mâles si nécessaire			
J 14	Alimentation : distribuer aliment porcelet au sol sur papier ou sur planche			
J 14			Vitamine E	Porcelets Piétrain et Landrace belge particulièrement
J 17	Introduire l'aliment dans des augettes accessibles	Anémie Troubles gastro-intestinaux au sevrage ou pneumopathies d'allure contagieuse	Injection fer Vaccination conforme aux identifications des sérotypes des germes déjà isolés Supplémentations adaptées	
J X : Sevrage	Température du local : 1 ^{ère} semaine 26° C - 2 ^{ème} semaine 24°C puis diminution progressive jusqu'à 19-20°C à 20 kg/poids vif. Constituer des lots homogènes – Veiller à l'aération des salles – Surveiller la qualité bactériologique et chimique de de l'eau de boisson	Maladies du sevrage	Aliment porcelet en granulés, supplémenté aux antibiotiques (suivant antibiogramme).	Eventuellement rationnement des porcelets pendant 10 à 15 jours. Aliment supplémenté pendant 15 jours.
J X + 4		Vermifugation	Produit antiparasitaire interne (Ascaris et strongles)	
8 – 9 semaines	Si porcelets sur flat decks, ne pas les garder au-dessus de 25 kg (problèmes d'aplombs)			

Tableau 10. Plan sanitaire d'élevage - mesures de base pour les verrats

Période du cycle	Conditions d'élevage	Indications de la prescription	Type de traitement ou de prévention	Recommandations d'emploi
<i>Période de croissance</i>	Eviter les températures trop chaudes Paille	Traitements antiparasitaires internes	Anthelminthiques spécifiques suivant indications des contrôles	2 à 3 fois par an
		Prévention des arthrites	Vaccin rouget	Rappel tous les 6 mois, hors période de service intensif
		Aplombs	Cure minérale et vitaminique polyvalente	1 fois par mois
		Veiller à la gale	Produits antiparasitaires externes spécifiques	Traitement complet 2 fois à 5 j d'intervalle si nécessaire, à renouveler tous les 2 mois par brossage - éliminer l'animal si récidive

Tableau 11. Plan sanitaire d'élevage - mesures de base pour porcs à l'engrais

Âge	Conditions d'élevage	Indications de la prescription	Type de traitement ou de prévention	Recommandations d'emploi
J 0	Réception des porcelets et répartition par poids			Léger rationnement alimentaire pendant la première semaine
J 0 à J 15		Prévention du stress d'adaptation et des contaminations bactériennes	Aliment spécial supplémenté aux antibiotiques et antiprotozoaires. Avec P.M. autorisé	En mélange alimentaire
J 8		Vermifugation	Anthelminthique	
J 30		Vermifugation		

● Les principales maladies des porcs

Les tableaux 12, 13 et 14 présentent sommairement les principales maladies des porcs.

Tableau 12. Principales maladies parasitaires du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Ascariidose	<i>Ascaris suum</i> . Parcours, sol, litière, déjections. Foie, poumon, intestin grêle	tous âges	toux, dyspnée, retard de croissance, troubles nerveux, ictère	tâches de lait sur le foie, pneumonie interstitielle. Présence de parasites.	coproscopie	mebendazole 30 ppm dans l'aliment 10 jours, ivermectine 1 ml/33 kg	vermifugation des truies avant mise bas
Gale sarcoptique	<i>Sarcoptes scabiei</i> . Animal malade. Pourtour des yeux, oreille, cou, épaulés, ventre.	tous âges	démangeaisons, ulcères et croûtes cutanées, odeur fétide	parakératose, épidermite exsudative, odeur de rance	grattage cutané et microscopie	lindane 2 traitements à 8-15 jours d'intervalle, ivermectine	hygiène et désinfection des locaux, quarantaine pour les nouveaux animaux, traitement des truies 45 jours avant mise bas, traitement des porcelets au sevrage
Hyostromylose	<i>Hyostromylus rubidus</i> . Élevages plein-air. Parcours, sol, litière. Estomac.	reproducteurs, charcutiers	troubles digestifs, amaigrissement, diminution de la production laitière, retards des chaleurs après sevrage, syndrome de la truie maigre.	gastrite catarrhale, présence de parasites,	coproscopie	thiabendazole 50 mg/kg, ivermectine 1 ml/33 kg	hygiène et désinfection des locaux, vermifugation 2 fois à 14-21 jours d'intervalle, vermifugation des truies avant mise bas
Métastrongylose	<i>Metastrongylus</i> sp. Élevages plein-air. Parcours, sol, litière. Poumons.		toux, amaigrissement, retard de croissance	bronchopneumonie, présence de parasites	coproscopie	thiabendazole 50 mg/kg, ivermectine 1 ml/33 kg	rotation des parcours
Oesophagostomose	<i>Oesophagostomum</i> sp. Parcours, sol, litière, déjections. Gros intestin (cæcum, colons).	tous âges	amaigrissement, retard de croissance, diarrhée subaiguë, chronique, diminution de la production laitière, retard des chaleurs après sevrage	nodules dans la paroi du cæcum et colon.	coproscopie, coproculture	thiabendazole 50 mg/kg, ivermectine 1 ml/33 kg	hygiène et désinfection des locaux, vermifugation 2 fois à 14-21 jours d'intervalle, vermifugation des truies avant mise bas

Tableau 12 (suite). Principales maladies parasitaires du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Pitiriasse	<i>Haematopinus suis</i> . Animal malade. Oreilles.	tous âges	démangeaisons, anémie		recherche visuelle	lindane, toxaphène, coumaphos, malathion, etc. 2 traitements à 2-3 semaines d'intervalle	quarantaine et traitement des nouveaux animaux, traitement préventif bisannuel du troupeau
Strongyloïdose	<i>Strongyloides ransomi</i> . Sol, litière, lait maternel. Intestin grêle.	porcelets	amaigrissement en fin de 1 ^{ère} semaine, diarrhée blanche-jaunâtre, baisse d'appétit, points rouges cutanés en forme de piqûre de puce	pétéchies sur la peau, les poumons et l'intestin grêle, entérite hémorragique	coproscopie	thiabendazole 50 mg/kg, ivermectine 1 ml/33 kg	hygiène et désinfection des locaux, vermifugation des truies avant mise bas.
Trichurose	<i>Trichuris suis</i> . Déjections. Gros intestin (caecum, colon)	tous âges	retard de croissance, entérite chronique, mortalité avec anémie, entérite hémorragique	nodules dans la paroi du caecum et colon.	coproscopie	mebendazole 30 ppm dans l'aliment 10 jours	hygiène et désinfection des locaux, vermifugation 2 fois à 14-21 jours d'intervalle, vermifugation des truies avant mise bas

Tableau 13. Principales maladies bactériennes du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Artrites	Streptocoques, staphylocoques, mycoplasmes. Facteurs favorisants : blessures, sols abrasifs	tous âges	articulations du genou, coude, jarret chaudes, rouges et douloureuses, présence parfois de pus			pénicilline 10 à 20 000 UJ/kg pendant 3 jours par exemple	éviter les sols abrasifs, désinfection du matériel d'élevage (pince à couper les dents), lutte contre le MMA
Cystites	Diverses bactéries. Facteurs favorisants : déjections à l'arrière de la truie, problèmes de pattes, manque d'activité, constipation, abreuvement insuffisant, vieilles truies. Contamination par eau de boisson, déjections, verrat malade	truies	écoulements vulvaires		bandelettes urinaires : présence de nitrites, sang, protéines. Bactériologie sur tractus génito-urinaire après abattage	antibiogramme recommandé puis antibiothérapie avec molécules à tropisme urinaire, traitement local du verrat	propreté élevage, désinfection surveillance de l'abreuvement, activité motrice, qualité de l'eau
Colibacillose	<i>Escherichia coli</i> . Facteurs favorisants : froid, pauvreté du lait maternel en anticorps, multiplication du germe dans le tube digestif.	porcelets <7 jours	diarrhée profuse jaune ou grise, déshydratation, vomissements, tremblements, mortalité.	déshydratation, congestion du tube digestif, des ganglions mésentériques et du mésentère. En cas de complications : épocardite, endocardite, congestion du rein et de la rate, polyarthrite.	à différencier de la GET et de la MAP.	Antibiogramme recommandé puis antibiothérapie	sanitaire : respect des quarantaines et du statut sanitaire à l'introduction d'animaux, lavage des truies avant mise bas. Désinfection et vide sanitaire des locaux. Qualité d'alimentation et d'abreuvement des truies. Médicale : vaccination des truies à 1 mois et 15 jours avant la mise bas
	Facteurs favorisants : crise des 5 semaines, multiplication du germe dans le tube digestif.	porcelets en début post-sevrage ou engraissement	8 jours après sevrage, mort subite, diarrhée, œdème des paupières, de la glotte (cri étouffé), paralysies, rougeurs abdomen cuisses, anus	œdème de l'estomac, colon spiral et du mésentère.	à différencier d'Aujeszky et streptocoque.	anti-inflammatoire et antibiotique	sanitaire (idem ci-dessus). Médicale : vaccination des porcelets à 8-10 jours et rappel au sevrage

Tableau 13 (suite). Principales maladies bactériennes du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Entérites hémorragiques	Dysenterie : <i>Traponema hyodysenteriae</i> , <i>Campylobacter coli</i> , <i>Balanitium Coli</i> . Iléite hémorragique : <i>Campylobacter sputorum</i> . Transmission par les fécès d'animaux porteurs sains. Stress et parasitisme favorisants.	porc en engraissement surtout	Dysenterie. Forme aiguë : diarrhée hémorragique, parfois sang en nature, perte de poids brutale. Mort en 2 à 7 jours, guérison, passage à l'état chronique. Forme subaiguë et chronique : diarrhée mucoïde, fausses membranes. Iléite hémorragique. Forme suraiguë : mort subite. Forme subaiguë : amaigrissement progressif, anémie.	Dysenterie. Forme aiguë : typhlocolite hémorragique, anémie, nécrose de l'intestin. Forme chronique : typhlocolite subaiguë, hypertrophique, oedémateuses.	à différencier de la colibacillose, salmonellose, entérotoxémie, ulcères gastro-oesophagiens.	traitement de longue durée (poursuivi 15 jours après guérison du dernier malade). Diméthridazole, lincomycine, ronidazole, tiamuline, virginiamycine, carbadox dans l'eau de boisson ou l'aliment.	Prophylaxie sanitaire : respect des quarantaines à l'introduction d'animaux, éviter les stress, vides sanitaires, élimination régulière des fécès.
Hémophilose	<i>Haemophilus pleuropneumoniae</i> . Sévit sous forme enzootique	porcelets	toux, hyperthermie, polypnée, anorexie, mort brutale.	pneumonie exsudative, hépatisation rouge, péricardite, pleurésie fibrineuse.		tétracyclines	
Leptospirose	<i>Leptospira interrogans</i> . Contacts directs, urine, effluents, chien, rats	tous âges	hyperthermie, hémoglobinurie, diarrhée, troubles nerveux, avortements de fin de gestation, mortinatalité	foyers blanc-grisâtres en surface du rein	bactériologie sur sang, urine, rein, sérologie	dihydrostreptomycine 25 mg/kg PV 3 jours	prophylaxie sanitaire : lutte contre les animaux errants, désinfection et hygiène. prophylaxie médicale : vaccination.
Métrites	Diverses bactéries.	troues	écoulements vulvaires, hyperthermie, avortements urinaires	verrat malade, infections urinaires	bactériologie	antibiogramme recommandé puis antibiothérapie avec molécules à tropisme urinaire, traitement local du verrat	respect des conditions d'hygiène, surveillance de l'abreuvement, qualité de l'eau

Tableau 13 (suite). Principales maladies bactériennes du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Pneumonie enzootique	<i>Mycoplasma</i> sp. Transmission par introduction d'animaux, mauvaises conditions d'ambiance.	tous âges	toux, éternuements, ralentissement de croissance. Surinfections bactériennes fréquentes. Lourdes pertes économiques.	atélectasie, pneumonie, bronchopneumonie.	à différencier de la rhinite atrophique, hémophilose, maladie d'Aujeszky, grippe.	oxytétracycline, tylosine, sulfamides, lincomycine dans l'eau de boisson pendant 8 jours. Améliorer les conditions d'ambiance.	prophylaxie sanitaire : respect des conditions d'ambiance (température, densité d'animaux), désinfection et vide sanitaire, introduction de reproducteurs indemnes et quarantaine, renouvellement régulier des cochettes.
Rhinite atrophique	<i>Bordetella bronchiseptica</i> et <i>Pasteurella multocida</i> . Introduction par les nouveaux reproducteurs. Facteurs favorisants : mauvaise hygiène des locaux, conditions d'ambiance mal maîtrisées, taux de réforme des reproducteurs trop élevé.	porcelets et charcutiers	éternuements, toux, larmoiements, jetage, épistaxis, déformations du groin, importants retards de croissance.	lésions des cornets nasaux, atrophie des volutes	Cf. symptomatologie	sulfamides, oxytétracycline	Prophylaxie sanitaire : maîtrise de l'ambiance et des densités d'animaux, respect des règles d'introduction des reproducteurs. Prophylaxie médicale : vaccination des truies gestantes.
Rouget	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> . Transmission par blessures, insecte piqueur, maladie de surinfection. Germe présent dans l'environnement (lisier, eau, terre).	tous âges	Forme aiguë septicémique : mort brutale (rouget blanc), hyperthermie, tâches rouges sombres-violacées sous le thorax, sur les oreilles, mortalité 50 % dans les 3 jours. Forme chronique : endocardite (respiration difficile, toux, inappétence), arthrite du carpe ou du tarse, mort. Forme cutanée : plaques rouges-violacées sur l'abdomen en « damier ».	arthrites, lésions de la peau, pétéchies sur les reins, le cœur, congestion intense de l'estomac et de l'intestin. Hypertrophie de la rate et des ganglions, endocardite fibrineuse obstruant les ventricules.	à différencier de la rhinite atrophique, hémophilose, maladie d'Aujeszky, grippe.	sérum, pénicilline 50 000 UI/kg pendant 3 jours, streptomycine	Prophylaxie sanitaire : désinfection des porcheries. Prophylaxie médicale : vaccination 2 injections à 3 et 6 mois.

Tableau 13 (suite). Principales maladies bactériennes du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Streptococcie	<i>Streptococcus suis</i> . Transmission par environnement, sol, eau, animaux, fèces. Facteurs favorisants : plaies (castration, caudectomie, sol, caudophagie). Sporadique à enzootique.	porcelets et charcutiers	Après la naissance : boiteries, paralysies. Post-sevrage : signes nerveux (tremblements, pédalage, paralysies), hyperthermie, mort subite. Engraissement : toux, mortalités subites, hyperthermie.	Porcelets sous la mère : arthrites purulentes. Post-sevrage : péritonite fibrineuse, œdème gastro-intestinal, congestion du foie, poumons, reins et méninges, péricardite séro-fibrineuse, endocardites valvulaires. Truies : métrite, cystite, pyélonéphrite purulente.	à différencier de l'hémophilose, colibacillose, Aujeszky, rouget.	pénicilline, amoxicilline tétracycline	quarantaine, isolement des porcs malades, désinfection et vide sanitaire, désinfection des plaies et asepsie pendant les opérations sanglantes, respect des conditions d'ambiance et normes de logement. Prophylaxie médicale : vaccination possible des truies.
Syndrome Mammite-Métrite-Agalaxie (MMA)	Diverses bactéries. Facteurs favorisants : changement de local, d'alimentation à la mise bas, constipation, non respect des vides sanitaires	truies	mammite : inflammation, hyperthermie, anorexie, constipation. Métrite : écoulements vulvaires, hyperthermie. Agalactie : pendant ou après la mammite, mamelle flasque ou congestion mammaire.	Cf. symptomatologie	Mammite-métrite : anti-inflammatoires, antibiothérapie (sulfamides, pénicillines), oxytocine pour la vidange de la mamelle. Injections de glucose aux porcelets.	hygiène de l'habitat, désinfection, vide sanitaire, lavage des truies avant mise bas, surveillance de l'alimentation et de l'abreuvement. Distribution d'aliments de lest. Prise de la température rectale après mise bas, coupe des dents des porcelets	

Tableau 14. Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Fièvre aphteuse	Picornavirus. Transmission par animaux malades (aphtes, lymphes, salive, jetage, sang, larmes), animaux en incubation, guéris, carcasses, produits de charcuterie, véhicules, homme, animaux errants, vent.	tous âges	hyperthermie, inappétence, boiteries, aphtes sur la couronne, l'espace interdigité, le coussinet plantaire, la langue, le lèvres, le groin, la mamelle. Cicatrisation ou chutes d'onglons, suppuration, complications cardiaques (myocardites).	vésicules	à différencier de la Maladie Vésiculeuse Suidés, la stomatite et l'exanthème vésiculeux. Mortalité plus importante chez les porcelets. Recours au laboratoire indispensable (lymphe, parois d'aphtes, sang d'animaux fébricitants).	aucun	Prophylaxie sanitaire : abattage total du cheptel et désinfection, déclaration officielle de la maladie, mise en place de mesures d'isolement. Contrôles aux frontières. Prophylaxie médicale : vaccination.
Gastroentérite transmissible (GET) et Diarrhée épidémique du porc (DEP)	Coronavirus. Contamination par fèces, animaux errants, matériel souillé, véhicules de transport	porcelet trou charcutier	diarrhée aqueuse profuse jaunâtre avec lait caillé, vomissements, déshydratation. variable en fonction des animaux : diarrhée vert-marron, abattement, hyperthermie, avortements, retour en chaleur diarrhée, inappétence, fonte musculaire, retard de croissance	entérite catarrhale déshydratation, congestion de l'intestin grêle, amincissement de la paroi de l'intestin.	souvent 100 % de mortalité	avancer le sevrage, réhydrater les animaux, chauffage symptomatique symptomatique	respecter les règles d'introduction des animaux et de circulation dans l'élevage (personnes, véhicules, lutte contre les errants). Contaminer les truies avant mise bas en donnant des intestins de porcelets morts

Tableau 14 (suite). Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Grippe Porcine ou Influenza	Myxovirus. Transmission par le vent, les porcs malades.	charcutiers surtout	inappétence, hyperthermie, perte de poids, toux, complications pulmonaires chroniques ou régression rapide.	pneumonie ou bronchopneumonie si surinfections bactériennes.	diagnostic de suspicion (grand nombre de porcs malades). Reproducteurs peu sensibles. Recours au laboratoire si nécessaire.	aspirine et antibiothérapie contre surinfections bactériennes.	Prophylaxie sanitaire classique. Prophylaxie médicale : vaccination des porcs à Fongrais (10-12 semaines).
Maladie d'Amatrissement du Porcelet (MAP)	Circovirus. Forte pression infectieuse dans l'élevage (SDRP Hémophilose, Streptococcose).	porcelets de 8 à 12 semaines (post sevrage)	amaigrissement, fonte musculaire, hyperthermie, anorexie, anémie, ictère, adénite inguinale, diarrhée, toux, dyspnée, polypnée	pneumonie caoutchouteuse en damier, œdème interlobaire, adénite (nécrose), parfois ulcères gastriques, têtè, hépatite, œdème du colon, néphrite.	clinique, taux de mortalité de 10 à 25 % en post sevrage, sérologie	aucun	hygiène de l'élevage et des interventions, maîtrise de l'ambiance, respect des plans de vaccination et des règles d'introduction des animaux et de circulation dans l'élevage, isolement des malades. Vaccin à l'étude.
Maladie d'Aujeszky	Herpès virus. Seul le porc est réservoir de virus : porcs malades (excrétions, sécrétions, cadavres de porcelets), porcs porteurs guéris, porcs porteurs sains. Transmission aussi par les viandes, les organes (poumons, foie, rate), les eaux grasses, le sperme de verrat, le matériel et véhicules.	porcelets < 15 jours porcelets de 15 jours à 3 mois	signes nerveux : convulsions, pédalage, mort. Atteinte de toute la portée ou de plusieurs portées. hyperthermie, puis méningoencéphalite aiguë : hyperesthésie, excitation, tremblements, épilepsie, paralysie du pharynx, pyalisme. Mort en 4 à 6 jours.	pas de lésions macroscopiques spécifiques. pneumonie enzootique, grippe porcine, rouget.	à distinguer des maladies de Teshen/Taifan, peste porcine classique, Diagnostic de laboratoire : porcelet entier, avorton, encéphale, amygdales sous couvert du froid (recherche de virus), sang sur une dizaine de reproducteurs (sérologie).		Prophylaxie sanitaire : respect des règles d'introduction des animaux (sérologie éventuelle) et de circulation dans l'élevage (personnes, véhicules, lutte contre les animaux errants), utiliser l'insémination artificielle. En cas de foyer, mener en fin d'enfermement les lots de charcutiers en évitant le contact avec d'autres lots, désinfecter et vide sanitaire après abattage, isoler et éliminer les reproducteurs positifs en sérologie, désinfection. Prophylaxie médicale : vaccination.

Tableau 14 (suite). Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Maladie d'Aujeszky (suiffe)		charcutier	maladie générale : fièvre, inappétence, troubles digestifs, troubles nerveux, guérison. Mortalité faible (1 %) Affection respiratoire : fièvre, inappétence, toux, retard de croissance. fièvre, abattement, inappétence. avortements, mise bas avec mort-nés macérés ou momifiés et vivants.				
Maladie de Teschen	Picornavirus. Transmission par les fèces, par contact direct.	reproducteurs et porcs charcutiers	Forme aiguë (surtout jeunes porcs à l'engrais) : hyperthermie, paralysie progressive du train postérieur, décubitus, pédalage, encéphalite (tremblements, nystagmus, grincements de dents), mort. Forme suraiguë : paralysie totale et mort en 48 heures. Forme chronique : paralysie du train postérieur, évolution lente puis régression avec boiteries, et amyotrophie.	pas de lésions macroscopiques spécifiques.	nombreux cas de paralysies dans un élevage. Confirmation par laboratoire sur deux prélèvements d'encéphale (1 avec antibiotiques, 1 dans le formol).	aucun	Prophylaxie sanitaire : abattage total du cheptel et désinfection, déclaration officielle de la maladie.

Tableau 14 (suite). Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Maladie Vésiculeuse des Suidés (MVS)	Entérovirus. Transmission par tous âges animaux malades (aphtes, lymphes, salive, jétage, sang, larmes), animaux en incubation, guéris, carcasses, produits de charcuterie, véhicules, homme, animaux errants. Diffusion moins rapide que la fièvre aphteuse.	tous âges	Forme grave : idem fièvre aphteuse. Forme bénigne : signes cliniques modérés. Forme inapparente.	vésicules	idem fièvre aphteuse. Mortalité plus importante chez les adultes.	aucun	Prophylaxie sanitaire : abattage total du cheptel et désinfection, déclaration officielle de la maladie, mise en place de mesures d'isolement. Contrôles aux frontières. Prophylaxie médicale : vaccination.
Parvovirose	Parvovirus. voie orale, nasale, saillie, contacts directs.	tous âges	infection en début de gestation : mortalité embryonnaire, réduction de la taille de la portée, retour en chaleur. infection après 35 jours de gestation : avortements, momifications, mortinatalité, mortalités néonatales	fœtus momifiés	sérologie sur 10 porcs minimum de différentes classes d'âge (seuil 1/320 ^e). mise en évidence d'anticorps sur momifiés, avortons, mort-nés (congélation pour envoi au laboratoire		Prophylaxie sanitaire : immunisation des cochettes avant mise à la reproduction (contacts truies, fœtus, fœtus). Prophylaxie médicale : vaccination cochettes et verrats 2 fois à 3 semaines d'intervalle au plus tard 15-20 jours avant la saillie, rappel de vaccination sur les truies à chaque lactation, 8-15 jours avant sevrage

Tableau 14 (suite). Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Peste Porcine Classique (PPC)	Pestivirus. Transmission par suidés sauvages, eaux grasses, produits transformés ou congelés, porteurs sains et chroniques, fèces, urine, jetage oculo-nasal, embryons et annexes.	tous âges	forme suraiguë : septicémie fébrile, mort en 24 - 48 heures. Forme aigüe typique : fièvre, diarrhée, troubles respiratoires, nerveux (parésies membres postérieurs), oculaires (blépharocjonctivite), cutanés (tâches congestives oreilles). Mortalité de 75 à 90 % des porcs en 8 à 15 jours. Forme atypique : surinfections par des germes associés (respiratoire/pasteurelles, digestif/salmonelles). Évolution subaiguë 10 jours à 3 mois, cachexie et mort. Forme chronique : symptômes atypiques : troubles de la reproduction (avortements, infertilité, mortinatalité), retards de croissance.	adénite congestivo-hémorragique, pétéchie sur le rein (en œuf de dinde), la rate, le larynx la vessie, ulcères du cæcum et du colon.	mortalité importante sans signes cliniques nets, tâches rouges sur la peau, ictère, troubles de la reproduction, déperissement de porcelats, hyperthermie persistante malgré antibiothérapie. Diagnostic de laboratoire sur rate, amygdales, ganglions, reins, sang.	aucun	Prophylaxie sanitaire : abattage total du cheptel et désinfection, déclaration officielle de la maladie, mise en place de mesures d'isolement. Contrôle aux frontières. Prophylaxie médicale : vaccination.

Tableau 14 (suite). Principales maladies virales du porc

Nom	Cause, mode de transmission, localisation	Classe d'âge	Symptômes	Lésions	Diagnostic	Traitement	Prophylaxie
Peste Porcine Africaine (PPA)	Virus à ADN. Transmission par suidés sauvages ornithodores (acariens), sécrétions, excréments, organes et tissus contaminés eaux grasses, véhicules.	tous âges	idem PPC	cyanose de la peau, hémorragies des séreuses et dans les grandes cavités, pétéchies rénales, splénomégalie et adénite hémorragique. Forme chronique : pleurésie, pneumonie, péricardite.	clinique et épidémiologique. Laboratoire (idem PPC).	aucun	Idem PPC. Pas de vaccin.
SMEDI	Virus SMEDI. Fécès.	tous âges	réduction de la taille des portées, momifications, malformations des porcelets, rétention de fœtus (dépassement date du part)	malformations des porcelets, lésions placentaires, fœtus momifiés	mise en évidence d'anticorps sur sérum des mort-nés, nouveau-nés n'ayant pas tété le colostrum		prophylaxie sanitaire : immunisation des cochettes avant mise à la reproduction (contacts truies, fécès, fœtus)
Syndrome Dysgénésique Respiratoire Porcin (SDRP)	Togavirus. Contamination par introduction animaux, vent.	tous âges	syndrome grippal et pulmonaire, baisse d'appétit, cyanose des oreilles (extrémités bleues), hypo ou hyperthermie. Troubles de la reproduction : avortements, mises bas prématurées, porcelets mort-nés, baisse de fertilité, prolificité, retours en chaleur.	pneumonie sur jeunes porcelets.	apparition brutale, syndrome grippal et troubles de la reproduction, phase aiguë 4 à 10 semaines.	symptomatique, anti-inflammatoires	respecter les règles d'introduction des animaux et de circulation dans l'élevage

LA CONDUITE ET LA GESTION DES ANIMAUX

● **La conduite en bandes**

La conduite en bandes consiste à appliquer la technique du *tout plein - tout vide*. Le principe consiste à vider et à peupler un bâtiment en une seule fois. Entre chaque période d'occupation (bande ou lot), le local est vidé des animaux pendant une durée fixe (vide sanitaire). Lors de la vacuité, un nettoyage et une désinfection du bâtiment sont réalisés.

Cette technique permet de maintenir, dans une série de compartiments, des animaux dont le stade physiologique est identique (adultes et jeunes) et de gérer des lots d'animaux dont l'âge et le poids sont similaires. L'organisation du travail est ainsi optimisée. En utilisant les caractères physiologiques du porc, il est possible de planifier les interventions qui permettront d'assurer une rotation régulière des groupes d'animaux dans les différents locaux spécifiques.

La conduite en bandes présente l'avantage de :

- > limiter les contaminations entre animaux d'âge différent ;
- > réaliser un vide sanitaire de qualité (nettoyage, désinfection, salle maintenue sans animaux) de façon régulière avant l'arrivée de la prochaine bande ;
- > programmer les actions techniques (sevrage, saillies, mise bas) à intervalles réguliers, celles-ci étant fonction de la période entre deux sevrages successifs.

Le rythme de travail est directement lié à l'intervalle entre bandes : si l'intervalle est d'une semaine, les événements (sevrage, saillie, mise bas) se répètent chaque semaine. Si l'intervalle est de six semaines, la répétition s'effectue tous les quarante deux jours.

● **L'organisation de la conduite en bandes**

Il s'agit de vider une salle de l'ensemble des truies, à jour fixe et à intervalle régulier, puis de prévoir les compartiments ou salles pour recevoir ces truies et leur descendance.

Lors de la conception de l'élevage, les paramètres à prendre en compte pour la conduite en bande sont :

- > l'effectif prévu de truies dans l'élevage ;
- > le nombre de bandes ;
- > l'effectif des bandes ;
- > le nombre et la taille des compartiments.

Certains paramètres ont une forte incidence sur la rentabilité de la production, notamment le coût des investissements. L'intervalle entre bandes est très important, car il conditionne le taux d'occupation des bâtiments.

● La détermination du nombre de bandes

Ce calcul prend en compte le cycle moyen d'une bande ainsi que l'intervalle moyen entre chaque bande. Le cycle d'une bande est déterminé par :

- > l'intervalle moyen entre le sevrage et la saillie fécondante (ISSF) estimé à 7 jours si les conditions techniques et sanitaires sont bonnes ;
- > la durée de la gestation (G) estimée à 114 jours ;
- > la durée moyenne d'allaitement (L) ou âge au sevrage, normalement de 26 à 28 jours, mais plus longue dans certains cas (sevrage à 35 jours).

La durée du cycle (DC) est donc = ISSF + G + L

Le nombre de bandes est le rapport entre le cycle d'une bande et l'intervalle entre bandes (I). Ce dernier est un multiple de sept jours pour simplifier l'organisation du travail.

Nombre de bandes = DC/I

● Le mode de calcul des différents compartiments

Lors d'un cycle, plusieurs lots d'animaux passent par le même stade physiologique. Il est donc indispensable de prévoir le nombre de salles nécessaires pour accueillir les animaux en tenant compte des différentes variables que l'éleveur souhaite appliquer. Pour ce calcul, il existe deux variables : le temps d'occupation (TO) d'un atelier par un lot et la durée du vide sanitaire (VS).

Ces variables dépendent des choix de l'éleveur mais aussi du type d'animal utilisé. En zone tropicale, certains paramètres sont à modifier, notamment pour la durée du vide sanitaire et la durée de lactation. L'expérience montre que, pour ce type de climat, la plus grande prudence est nécessaire : il est souhaitable d'allonger les périodes de repos pour éviter l'augmentation de la pathologie en maternité et en post-sevrage.

L'exemple d'un élevage de 35 truies

ISSF = 7 j - G = 114 j - L = 26 jours

I = 21 jours - VS : 14 jours

Nombre de bandes = $(7 + 114 + 26)/21 = 7$

Nombre de truies par bande = $35/7 = 5$.

Le cas de l'atelier maternité

Le nombre de maternités nécessaires se calcule de la façon suivante: $N = (TO + VS)/I$.

Pour un temps d'occupation (TO) de 7 jours avant la mise bas et 26 jours de lactation, une durée de vide sanitaire (VS) de 14 jours et un intervalle entre bandes (I) de 21 jours, on obtient $N = 2,23$. En arrondissant au chiffre supérieur, il faut trois salles de cinq places. En jouant sur la réduction du vide sanitaire, on peut arriver à tourner sur deux salles. Il faut pour cela un vide sanitaire de neuf jours, ce qui reste raisonnable si les opérations de nettoyage et de désinfection sont bien menées.

Le cas de l'atelier de post-sevrage

Pour cet atelier, les normes sont les suivantes :

- l'entrée dans l'atelier se réalise au sevrage ;
- le poids des porcelets à la sortie du post-sevrage est de 25 kg ;
- l'âge moyen à ce poids est de 77 jours ;
- le TO est donc de 51 ;
- la durée du vide sanitaire doit être de 14 jours.

Le nombre de salles nécessaires se calcule de la façon suivante : $N = (TO + VS)/I = 3,1$.

À partir de ces paramètres, le calcul théorique détermine un nombre de salles qui est de 3,1. Il existe deux options possibles : soit l'on prévoit une salle supplémentaire, et on peut augmenter la durée d'occupation du bâtiment à 96 jours, soit l'on diminue le nombre de salles et il faut sortir les animaux à 75 jours. Le choix dépend de l'environnement climatique : en zone d'altitude et avec une forte pluviométrie, il est préférable de prévoir quatre salles de post-sevrage qui fournissent des animaux plus lourds, et avoir des engraissements classiques semi-ouverts. En zone de plaine et en climat chaud, il est préférable de prévoir trois salles et, au niveau des engraissements, des systèmes de protection thermique pour les deux premières semaines (panneau ou filet brise-vent).

● La conduite de la reproduction**● Le renouvellement des reproducteurs**

Il est nécessaire de compter sur un taux annuel de renouvellement des truies de 40 à 50 %. La réforme des truies doit intervenir aux environs de la cinquième portée pour éviter toute diminution de la productivité : troubles de la reproduction, lésions podales, problèmes d'aplombs. Les cochettes de renouvellement doivent être introduites dans chaque lot de truies au sevrage dans une proportion de 20 à 25 % pour conserver l'équilibre immunitaire du troupeau.

Les cochettes peuvent être mises à la reproduction à partir de 7,5 à 8 mois de manière à mettre bas vers l'âge d'un an. Il est possible d'utiliser des progestagènes pour grouper la venue en chaleur de ces animaux et constituer des bandes (18 jours de traitement, venue en chaleur dans les 5 à 7 jours).

Le taux de renouvellement des verrats est de 60 %. Leur utilisation commence à l'âge de 8 mois. On compte un verroat pour quinze à vingt truies. Le renouvellement des reproducteurs doit faire l'objet d'un planning annuel.

Tous les futurs reproducteurs introduits dans l'élevage doivent subir une période de quarantaine. En cas d'auto-renouvellement des reproducteurs, il s'agit de créer un troupeau de multiplication annexe.

● La détection des chaleurs

Le cycle de la truie dure vingt et un jours. Lors des chaleurs, on observe un rougissement et un gonflement de la vulve, de l'agitation, une perte d'appétit et des chevauements entre les truies. Cependant, pour une bonne détection des chaleurs, la présence d'un verrat est indispensable deux fois par jour dans les quatre jours suivant le sevrage. Il permet de détecter assurément le réflexe d'immobilisation des truies.

● La saillie

Les spermatozoïdes disposent d'une durée de vie de trente à quarante heures dans le tractus génital de la femelle. La ponte ovulaire commence trente à quarante heures après le début de l'immobilité au verrat. La pratique de la double saillie est recommandée pour obtenir des bons résultats de fécondité et prolificité. Deux solutions peuvent être envisagées :

Première solution

- > première saillie dès que la truie accepte le verrat ;
- > seconde saillie au maximum vingt-quatre heures plus tard.

Seconde solution

- > première saillie au plus tard douze heures après l'immobilité au verrat ;
- > deuxième saillie douze heures après la première ;
- > une troisième saillie peut être effectuée si la truie est toujours en chaleur 12 heures après.

Le contrôle de la gestation ou des retours (non gestation) doit être effectué trois à six semaines après la saillie à l'aide du verrat ou par échographie (vers cinq semaines).

● La gestation

La gestation de la truie dure environ 114 jours (trois mois + trois semaines + trois jours). Le premier mois de gestation est critique car c'est le moment de plus grande mortalité embryonnaire. Il faut donc éviter de transporter les truies durant cette période.

● La mise bas

Deux semaines avant la mise bas, on effectue deux vermifugations à deux semaines d'intervalle avant l'entrée en maternité. Une semaine avant la mise bas, on réalise un lavage des truies et un déparasitage externe juste avant l'entrée en maternité. Il est nécessaire de réduire progressivement la ration alimentaire et de surveiller l'abreuvement des truies pour éviter les problèmes de constipation.

Une mise bas normale dure trois à quatre heures. Il est indispensable de la surveiller discrètement car la présence de l'homme l'allonge très souvent. S'il y a interruption lors de la mise bas, il faut injecter 1 ml d'ocytocine en intra-musculaire.

Si un quart d'heure après ce traitement on n'observe pas de nouveau porcelet, il faut fouiller la truie (mains propres, gant de fouille et gel antiseptique). Une injection de sergotonine en fin de mise bas et un traitement antibiotique pendant trois jours sont alors recommandés.

L'administration de prostaglandines le 111^{ème} jour de gestation peut être envisagée pour regrouper les mise bas le même jour. La mise bas intervient dans les vingt-six heures suivant cette injection.

● Les soins aux porcelets

- > prévoir une lampe (pour chauffage) au-dessus du nid à porcelets en fonction de la température ;
- > si besoin, débarrasser des enveloppes et réanimer les porcelets ;
- > désinfecter le cordon ombilical avec un antiseptique ;
- > sectionner les canines (lésions des tétines et des queues) et couper les queues (afin d'éviter la caudophagie) ;
- > si besoin, égaliser les portées et procéder à des adoptions ;
- > pratiquer une injection de fer à 4-5 jours ;
- > castrer les porcelets aux environs de 10 jours.

● La gestion technico-économique

Améliorer la productivité, limiter les coûts de production et assurer la rentabilité des élevages de porcs nécessite une gestion précise et soigneuse. Cette gestion est possible par des procédures d'enregistrement de données. Elles sont basées sur deux types de suivi d'élevage : la gestion technique des troupeaux de truies (GTTT ou G3T) et la gestion technico-économique (GTE). La G3T est une technique de suivi des performances, applicable aux élevages pratiquant la reproduction (naisseurs, naisseur-engraisseurs). La GTE est applicable à l'ensemble des types d'élevages.

Avant de mettre en œuvre ces techniques, il convient d'identifier les animaux et d'enregistrer les événements majeurs au sein du troupeau sur des supports papier ou informatiques.

Pour la G3T, les enregistrements à effectuer sont les suivants :

- l'identification des reproducteurs présents et leur date de naissance ;
- les dates des événements : entrée des reproducteurs, mises bas, sevrage, saillie, réforme ;
- les nombres de porcelets : nés vivants, morts nés, sevrés, gardés à 48 h, adoptés.

Pour la GTE, il s'agit d'enregistrer :

- les flux d'animaux et d'aliments sur la période considérée : achats, ventes, cessions internes ;
- les mouvements internes des animaux : entrées en post sevrage et engraissement, pertes, avec mention des dates, nombres et poids ;
- les stocks : animaux reproducteurs, porcelets, porcs à l'engraissement, aliments.

L'ÉLEVAGE PORCIN TRADITIONNEL

L'élevage porcin traditionnel, familial ou paysan est généralement de type extensif et se caractérise par une minimisation des intrants et des investissements. L'élevage *villageois* constitue seulement une partie de l'élevage traditionnel ; en effet la production porcine est parfois présente en milieu urbain et périurbain.

Dans les systèmes traditionnels, le porc est le plus souvent élevé avec l'objectif d'apporter un complément de revenu ; il peut constituer un élément important du système d'épargne et d'accumulation des familles. Le porc est une *cagnotte vivante*, une source d'argent liquide facilement mobilisable en cas d'urgence. Outre sa fonction d'épargne, l'animal a souvent un rôle alimentaire direct ou indirect. Il est également sacrifié lors de rites religieux ou abattu pour remplir un devoir social.

● Les races

Les races locales couvrent une variété importante de porcs présentant une grande hétérogénéité de performances : format, prolificité, vitesse de croissance, etc. Les traits communs à tous ces animaux sont leur grande rusticité et leur importante capacité d'adaptation à des conditions alimentaires et climatiques souvent difficiles. La plupart des porcs d'Amérique du Sud et centrale, des Caraïbes et d'Afrique sont des animaux de petit format issus du porc ibérique, alors que les porcs asiatiques dérivent des suidés sauvages (sanglier d'Asie) et présentent des formats parfois plus importants.

Si les races demeurent le plus souvent de type local, l'élevage traditionnel n'exclut pas les races exotiques, notamment à proximité d'élevages plus intensifs qui favorisent leur dissémination. Parfois on assiste à une absorption locale des races autochtones par les races importées. Ainsi, même traditionnels, les élevages sont de plus en plus marqués par l'introduction de races améliorées européennes et nord-américaines, pures ou, le plus souvent, croisées avec des races locales.

La persistance des races locales reflète néanmoins leur adéquation avec la majorité des élevages traditionnels, où nombre d'éleveurs ne peuvent satisfaire aux exigences alimentaires et sanitaires plus élevées des porcs améliorés ; elle est également due au fait que ces animaux coûtent moins cher à l'achat et qu'un format d'animaux plus réduit est parfois avantageux.

● Des conduites variées

De la divagation à la claustration permanente, l'élevage traditionnel couvre une large gamme de conduites qui s'adaptent aux modifications de l'environnement. En effet, l'élevage en liberté (stratégie de *cueillette*) est de plus en plus limité par l'augmentation des surfaces cultivées et l'extension des zones urbaines.

L'éleveur est donc amené à conduire ses animaux en claustration et, par conséquent à les alimenter et à les soigner. Bien souvent, il reconstitue simplement en enclos les conditions d'élevage en liberté : absence d'allotement, nourriture autonome, etc. Cependant, en claustration, la production familiale de sous-produits et de déchets divers étant souvent insuffisante, l'intensification passe par un investissement en aliments (sons, drèches, etc.). Ainsi, du fait des coûts des consommations intermédiaires, les élevages traditionnels doivent augmenter leur productivité pour subsister.

● **Améliorer les performances des élevages traditionnels**

Les recommandations pour améliorer l'élevage porcin intensif ne peuvent être appliquées aux petits élevages traditionnels pour des raisons de rentabilité. On propose donc un certain nombre de techniques basées sur les systèmes traditionnels existants.

Les références techniques locales sont la base de toute tentative d'amélioration des performances techniques : en effet pour progresser il faut situer les performances par rapport à un standard et en suivre l'évolution. Ces références permettent de fixer les objectifs d'expérimentation, de monter des programmes d'amélioration des performances et de sélectionner des animaux performants.

Réaliser des enquêtes zootechniques pour obtenir des références techniques constitue une première approche, mais elle trouve vite ses limites lorsqu'on cherche à quantifier des performances précises de croissance ou de conversion alimentaire. On a donc recours à des mesures sur le terrain et en station expérimentale.

Dans la plupart des cas, l'amélioration des performances techniques passe d'abord par la levée des principales contraintes alimentaires et sanitaires. Une fois ces conditions de base remplies, un travail sur la génétique des animaux ou des efforts pour une rationalisation complète de l'alimentation peuvent être envisagés.

● **L'alimentation**

Les arguments pour améliorer les pratiques alimentaires doivent être avant tout économiques, même s'ils sont exprimés par l'amélioration de paramètres techniques. Le passage par l'expérimentation ou la démonstration est souvent indispensable pour corriger l'équilibre de la ration.

Les efforts doivent prioritairement porter sur l'alimentation de la truie en période de lactation car la couverture de ses besoins réduit sa perte de poids, améliore sa production laitière, le poids des porcelets au sevrage et la venue des chaleurs après le sevrage. L'alimentation des porcs en croissance est directement (et visiblement) liée aux performances, aussi est-elle souvent mieux gérée par les éleveurs. Les apports doivent être réguliers sur le plan qualitatif et quantitatif. Enfin, les rations préconisées doivent être simples, exprimées à l'aide des unités qui conviennent le mieux (nombre de boîtes de conserve, de seaux, etc.).

Des équivalences/substitutions à partir de la ration de base doivent être proposées pour éviter une pratique des modifications fantaisistes de formules (aliment saisonnier, augmentation du prix, etc.). Les équivalences approximatives (par exemple « 1 kg de tourteau d'arachide = 1 kg de tourteau de coton = 2,5 kg de tourteau de coprah ») permettent de faire des substitutions dans une ration déjà calculée sans en compromettre gravement l'équilibre.

● **L'utilisation des ressources locales**

En règle générale, le porc peut être alimenté avec une stratégie *opportuniste* selon les disponibilités en produits agricoles ou sous-produits agro-industriels. Certaines productions ont cependant un intérêt pour l'alimentation humaine beaucoup trop fort pour pouvoir entrer dans l'alimentation des animaux : mil, soja, maïs, etc.

Lorsqu'il existe une possibilité de stockage, les producteurs ont souvent intérêt à s'organiser pour acheter des quantités importantes d'aliments afin d'obtenir des prix de gros intéressants. Cependant le stockage présente des risques (dégradation, vol) et il faut mettre en relation ces risques et le bénéfice attendu de l'opération.

Il faut avoir une approche intégrée des systèmes de production pour trouver de nouvelles sources alimentaires.

● **L'équilibre de l'alimentation**

Les ressources étant locales, on ne peut pas faire de recommandations générales sur la formulation des aliments. On peut néanmoins souligner les points clés de la démarche d'alimentation :

- > *la précision des calculs à réaliser est proportionnelle au niveau de production atteint* : alors qu'il suffit de raisonner en terme de quantité de matière sèche ingérée pour un élevage très extensif, on doit réfléchir à la teneur en protéines et en énergie (voire en acides aminés) des différents constituants de la ration pour des élevages traditionnels plus performants dans lesquels une alimentation abondante est distribuée ;
- > *pour la correction des carences*, il faut trouver des formes de complémentation (farine de poisson, compléments végétaux, etc.), identifier leur disponibilité saisonnière et les expérimenter (intérêt technico-économique) ;
- > *les rations doivent être ajustées aux besoins des animaux* selon les différents stades de production ;
- > *il faut établir un équilibre entre les concentrations en énergie et en protéines* ;
- > *il convient de promouvoir des compléments adaptés pour les minéraux et vitamines*, faute de quoi les efforts faits sur le reste de la ration ne sont pas valorisés à leur optimum ;
- > *enfin, les besoins en eau d'abreuvement des porcs sont élevés*. Une eau de bonne qualité doit être fournie sans limitation.

● **L'hygiène et la santé animale**

Les premières mesures à appliquer concernent l'hygiène générale de l'élevage : nettoyage quotidien, éloignement des fumiers, occupation des locaux sans entassement, etc. Un déparasitage interne et externe régulier et, si nécessaire, la vaccination contre les grandes maladies infectieuses complètent ces règles classiques. Des déparasitages doivent aussi être effectués :

- > sur tout animal entrant dans l'exploitation ;
- > sur les porcelets avant le sevrage ;
- > sur les porcs à l'engrais à l'âge de quatre mois ;
- > sur les verrats deux fois par an ;
- > sur les truies, quinze jours avant la saillie, quinze jours avant la mise bas et avant le sevrage des porcelets.

Des mesures simples permettent de limiter les risques sanitaires :

- > bien cuire les déchets de cuisine et de restaurants utilisés en alimentation animale ;
- > éviter que les porcs entrent en contact avec des animaux extérieurs : ne pas les laisser divaguer, limiter les mouvements d'animaux ;
- > déparasiter et traiter régulièrement contre les tiques ;
- > éviter de se déplacer de porcherie en porcherie pour limiter les risques de contamination (cette remarque concerne les éleveurs, les conseillers, les enquêteurs, etc.);
- > et surtout, prévenir un vétérinaire au moindre doute : de nombreux éleveurs attendent le dernier moment pour faire appel au vétérinaire et il est souvent trop tard.

Dans les zones à risque, des mesures préventives doivent systématiquement être prises contre la peste porcine. La vaccination contre la peste porcine classique est possible, en revanche il n'existe aucun traitement. Le seul moyen de lutte contre la peste porcine africaine est l'abattage systématique du cheptel (exemple de la Côte d'Ivoire en 1996).

En cas de doute sur l'état de santé d'un animal ou lorsqu'une maladie est déclarée, il faut :

- > isoler l'animal malade (d'où l'importance de prévoir un lieu de quarantaine : enclos ou case) ;
- > appeler le vétérinaire ;
- > éviter tout déplacement sur d'autres porcheries et les visites de personnes extérieures ;
- > nettoyer soigneusement et désinfecter complètement la porcherie : eau de javel concentrée, crésyl additionné de savon, etc.

En dehors des aspects de prévention de la mortalité et des maladies, les éleveurs doivent être sensibilisés au travail en collaboration avec les agents vétérinaires et vice-versa : les intervenants en élevage doivent donner l'exemple, pour ce qui concerne l'hygiène en particulier (passage par pédiluves, etc.).

● L'amélioration génétique

Deux démarches sont possibles pour l'amélioration génétique :

- > *une sélection peut être réalisée à partir des animaux disponibles localement en vue d'améliorer les performances de production et de reproduction.* Par exemple pour les performances de reproduction, on sélectionne les plus beaux porcelets de portées de taille importante plutôt que de plus gros porcelets issus de portées de petite taille (héritabilité importante du caractère) ;
- > *de nouveaux gènes peuvent être introduits par l'utilisation d'animaux en race pure ou en croisement.* En milieu traditionnel, ce moyen d'amélioration génétique doit tenir compte des principales contraintes, alimentaires et sanitaires, afin de ne pas s'orienter vers des animaux à fort potentiel mais inadaptés au système d'élevage pratiqué.

Tableau 15. Points techniques essentiels

Catégorie	Points techniques essentiels	Indicateurs
Élevage des truies et reproduction	choix des porcelets pour la reproduction détection des chaleurs et mise à la reproduction alimentation et abreuvement des truies pendant la période de lactation calendrier des traitements antiparasitaires	âge/poids à la première saillie intervalle sevrage - saillie fécondante (ISSF) ou intervalle entre mises bas nombre de portées/truie/an
Soins aux porcelets avant le sevrage	soins à la naissance : désinfection du cordon ombilical accès de tous les porcelets au colostrum taille des canines (selon les races) Jusqu'au sevrage : fréquence des tétées et répartition des porcelets sous la mère injection de Fer (3 jours puis 3 semaines après la naissance) ou mise à disposition de latérite de profondeur castration des mâles à 3 semaines choix des porcelets pour l'engraissement ou la reproduction démarrage de l'alimentation des porcelets traitement antiparasitaire au sevrage	nombre de porcelets/portée : nés vivants et mort-nés taux de mortalité naissance-sevrage, détermination des causes productivité numérique: nombre de porcelets sevrés/truie/an âge/poids au sevrage
Engraissement	choix des porcelets/prix d'achat traitement antiparasitaire à 4 mois équilibre des rations, niveau énergétique de l'alimentation limitation des gaspillages d'aliments surveillance de la croissance des animaux suivi des prix des principaux aliments période et prix de vente des animaux engraisés adéquation par rapport à la demande	gain moyen quotidien (GMQ) taux de mortalité et causes durée d'engraissement âge et poids à la vente périodes de vente calculs économiques simples (dépenses/recettes)

● Les bâtiments

Laisser les porcs divaguer les expose à des problèmes sanitaires, aux vols, à la prédation, etc. et n'est pas toujours possible (règlements, cohabitation avec les agriculteurs, etc.). L'élevage porcin s'oriente de plus en plus vers un système en claustration permanente pour lequel la qualité du logement est essentielle. La construction d'une porcherie doit être la plus économique possible, tout en satisfaisant à des exigences minimales d'hygiène et de confort des animaux.

Quelques principes :

- > porcherie de type ouvert, construite perpendiculairement au vent dominant (aération) ; eau à proximité ;
- > toitures basses et à deux pentes (ventilation au sol et non à hauteur d'homme), en chaume (épaisseur 10 cm) ou en aluminium poli, dépassant largement l'aplomb des murs (protection contre le soleil et les pluies) ;
- > sol de préférence en béton ou empierré et solidement jointoyé, avec une pente suffisante pour favoriser l'évacuation des déjections dans un canal de drainage et leur récupération pour la fertilisation des cultures ;
- > séparations verticales d'une hauteur minimale de 1,10 m, en bois à claire-voie avec planches clouées du côté intérieur, ou en briques ou bien agglomérés enduits d'une épaisseur de 15 cm, ou bien en béton d'une épaisseur de 10 cm ;
- > cases collectives pour les porcs en engraissement : 3 m² par porc ; cases individuelles : 10 m² par truie allaitante avec un nid paillé pour protéger les porcelets, 3 m² par truie gestante ;
- > mangeoire et abreuvoir fixes de préférence, sans angles vifs, avec une possible évacuation des eaux de rinçage (trou cylindrique en partie basse bouchable de l'extérieur). Les mangeoires et abreuvoirs en bois sont facilement amovibles, en V et stabilisés sur les côtés ou creusés dans un tronc d'arbre.

● **Les performances économiques**

● **L'intérêt économique de la production**

La rentabilité financière peut paraître un élément peu approprié pour évaluer l'intérêt de l'activité. En effet, pour comparer l'investissement dans l'élevage porcin à d'autres types de placements, il faut faire intervenir des notions de risques et de liquidités, notions souvent plus décisives dans le choix des éleveurs que la simple rentabilité du placement. Pourtant cette approche est nécessaire pour étudier le rapport coût/bénéfice de certaines pratiques.

● **Les charges**

- > *achat des animaux* : importance du choix ;
- > *alimentation* : souvent le premier poste de dépense à ne pas négliger car une alimentation médiocre engendre des pertes et au mieux des résultats médiocres ;
- > *soins vétérinaires* : ils représentent un faible pourcentage des frais opérationnels mais peuvent réduire considérablement les risques de mortalité. Les traitements antiparasitaires sont importants.

● **Les performances techniques**

L'intérêt économique dépend en partie des performances techniques : nombre de porcelets sevrés par an, gain moyen quotidien, etc. Il est primordial de tester l'intérêt économique de toute amélioration des performances techniques occasionnant de nouvelles charges, par l'évaluation du rapport coût/bénéfice des pratiques préconisées.

● **Les besoins en trésorerie**

La trésorerie disponible pour l'alimentation des animaux conditionne en grande partie la réussite de l'activité. En effet, le cycle de production (de la naissance à la vente) varie souvent de six mois à un an et constitue une immobilisation financière importante. En cas de trésorerie insuffisante, les éleveurs ont recours à la vente précoce de porcelets ou de jeunes porcs, à la seule activité de naissance, etc.

● **La commercialisation et la qualité**

L'étude des cours du porc sur le marché permet d'optimiser les périodes d'élevage. La demande en porc est variable dans l'année et les cycles de production peuvent être calculés de manière à vendre aux périodes où les prix sont plus intéressants.

Cependant la résistance aux tendances générales est possible seulement pour des éleveurs aisés, qui peuvent bénéficier des périodes d'élevage propices dans les cycles du marché du porc. En élevage traditionnel, il reste souvent plus intéressant de faire coïncider les périodes d'engraissement ou de lactation des animaux avec celles où la trésorerie familiale est disponible ou avec celles de forte disponibilité en ressources alimentaires à coût pratiquement nul.

L'adéquation de l'offre par rapport au marché est primordiale. Les consommateurs sont demandeurs de viande de qualité, ce qui pousse les éleveurs traditionnels à présenter un produit s'alignant sur les unités de production plus importantes. La qualité hygiénique est garantie par un élevage en claustration avec le respect des normes sanitaires de base.

Enfin, une meilleure organisation des éleveurs pour la commercialisation sur des marchés éloignés peut permettre d'obtenir des prix plus rémunérateurs : suppression des intermédiaires, moyens de transports communs, etc.

Bibliographie

- INRA 1989, *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volaille*. Paris, Versailles, Ed. INRA 250 p.
- ITP 2000, *Mémento de l'éleveur de porc édition 2000* - Paris, Institut technique du porc, 374 p.
- MARTINEAU G.P., 1997. *Maladies d'élevage des porcs. Manuel pratique*. Paris, Ed. France agricole, 480 p.

L'aviiculture

À partir des contributions de D. Bastianelli (CIRAD),
C.E. Bebay (Vsf), E. Cardinale (CIRAD)

Nous présentons d'abord l'aviiculture de type intensif, menée à partir de souches sélectionnées de poules pondeuses et de poulets de chair, avant d'aborder les techniques d'amélioration de l'aviiculture traditionnelle. Quelques éléments sur l'élevage des autres espèces avicoles (pintades, canards, oies et dindons) clôturent ce chapitre.

L'AVICULTURE DE TYPE INTENSIF

Pour que l'aviiculture soit efficace et rentable, de nombreuses conditions doivent être réunies : animaux de souche performante, alimentation optimale, logement convenable, protection sanitaire efficace, etc. Quelle que soit l'échelle à laquelle il est pratiqué (de quelques centaines d'animaux à des centaines de milliers), ce type d'aviiculture est dit *intensif*. Pour l'essentiel les règles de base sont indépendantes des tailles des exploitations et des régions. Les indications ci dessous sont cependant davantage destinées à des élevages de type intermédiaire, et sont axées sur les recommandations d'usage pour les climats chauds.

● **Les races, les souches, les croisements**

Les poules et poulets d'élevage appartiennent tous à l'espèce « *Gallus domesticus* ». La sélection des races, notamment sur l'adaptation au milieu et l'aspect extérieur, est très ancienne. Depuis plusieurs décennies, les races ont été améliorées pour augmenter leurs performances, et croisées pour obtenir des hybrides commerciaux bénéficiant des avantages de plusieurs d'entre elles. Ce sont aujourd'hui ces hybrides qui sont utilisés pour la production, même si quelques sélectionneurs maintiennent des troupeaux de race pure (*Leghorn*, *Rhode Island Red*, *Wyandotte*, *Light Sussex*, etc.).

Il existe d'un côté des entreprises de sélection génétique de taille mondiale, et de l'autre des races locales destinées à un élevage familial ayant besoin d'animaux résistants, aux bonnes qualités maternelles, et qui ne soient pas obligatoirement achetés.

Entre les entreprises de sélection génétique et les producteurs se trouvent les multiplicateurs et les accouveurs, qui gèrent les troupeaux de reproducteurs et fournissent des *poussins d'un jour*. Nous n'aborderons pas ici le métier très particulier de la reproduction et de l'accoupage mais il s'agit d'un maillon essentiel des filières avicoles : la régularité et la qualité de l'approvisionnement en poussins des élevages conditionnent en effet largement leur réussite.

Sans faire une liste exhaustive des lignées disponibles, on peut citer quelques exemples (cf. tableau 1).

Tableau 1. Exemples de lignées disponibles

Fournisseur	Souche chair	Pondeuse œufs roux	Pondeuse œufs blancs
Hubbard - ISA ^a (F)	ISA 15, 20, 30 JA 57 (label), P6N (noir)	Isabrown	Isawhite – Babcock B300
Shaver ^a (F, Can)	Redbro, Starbro, Minibro	Shaver 577, 579	Shaver White, Shaver 2000
Lohmann (D)	Lohmann meat	LB Classic, Tradition, Lite	LSL (Lohmann selected Leghorn) Classic, Extra, Lite
Hy-line (USA)		Hy-line Brown, Silver Brown	Hy-line W36, W77, W98
Hisex (NL)	Hybro N, Hybro G	Hisex rousse	Hisex blanche
Peterson Farms (USA)	Peterson Meat		
Arbor Acres Farm (USA) ^b	AA broilers		
Ross Breeders ^b	Broilers 208, 308, 508, PM3		
Cobb (GB)	Cobb 500, 600		
Kabir chicks (Israël)	K88, K99, K105, K277, K666		Kabir White, K28
Sasso (F)	Spécialiste production label (souches rustiques à croissance lente)		

a Hubbard-ISA et Shaver (ainsi que BUT pour les dindons) font partie du même groupe.

b Arbor Acres et Ross font partie du groupe AVIAGEN.

Le choix d'une souche de poulets de chair dépend du marché (vente du poulet vivant ou mort, entier ou à la découpe, critères de qualité, etc.), et des facteurs d'élevage : les animaux les plus performants sont aussi les plus exigeants en aliment et en soins, tandis que des animaux plus légers peuvent être plus résistants à des conditions suboptimales.

Le choix d'une souche de pondeuse se base sur les performances attendues, les conditions d'élevage, la résistance des animaux, et le choix proposé par les couvoirs. On distingue les souches suivantes :

- > *les souches à plumage blanc et œufs blancs* (type Leghorn) disposent d'un bon potentiel génétique et ont une faible consommation alimentaire. Ces animaux de petit format sont assez nerveux. Ils résistent bien à la chaleur mais ils ont une valeur médiocre à la réforme ;
- > *les souches à plumage rouge et à œufs bruns* sont de format un peu plus important. Les animaux sont plus calmes. La consommation alimentaire est un peu plus élevée mais la valorisation à la réforme est meilleure ;
- > *les souches à plumage noir (et œufs bruns)* sont plus rustiques mais leur potentiel de production reste convenable. Elles peuvent être intéressantes dans des contextes de production difficiles.

● Les performances

Les performances des animaux dépendent largement des souches utilisées, des pratiques d'élevage, de l'alimentation, de l'environnement climatique et sanitaire, etc. Toutefois, des élevages très performants existent en milieu tropical, et les données des tableaux 2 et 3, recueillies dans des conditions *optimales*, peuvent servir de référence.

Tableau 2. Les performances-type des pondeuses (souche rousse, élevage au sol)

Élevage pondeuses	Performances optimales	Performances typiques en climat chaud	Remarques
Pic de ponte	25-35 semaines	24-40 semaines	Bonne persistance
Poids entrée en ponte	1 550 g à 18 s.	De 1 400g/16 s. à 1 550g/18s.	Eviter entrée en ponte précoce
Poids adulte¹	1 900 g	1 750-1 900g	
Élimination/tri	4 % en élevage 4-6 % en ponte	Idem	
Consommation entre 0 et 18 semaines	6,3 – 6,8 kg	5,6 - 6,2 kg	
Consommation ponte¹ (indicative, aliment à 2 775 Kcal EM/kg)	120 g/j à 20°C (production au sol) 110 g/j à 20°C (production en cage)	114 g/j à 25°C 108 g/j à 30°C 100 g/j à 35°C (production au sol)	Besoin énergétique abaissé de environ 3,1 Kcal/°C/jour
Consommation d' eau	20°C: env. 1,7 x aliment; 25°C: env. 2,4 x aliment 30°C: env. 3,1 x aliment; 35°C: env. 4,2 x aliment		À titre indicatif
Nb œufs cumulés à 72 semaines d'âge	310 œufs (19,4 kg)	280 - 300 œufs (17 - 18 kg)	
Poids moyen œuf	62 g	58 - 60 g	Influence de la lumière et de la précocité
IC moyen (g aliment/g œuf)	2 - 2,2	2 - 2,4	Dépend de la concentration énergétique

¹ Données moyennes pour des poules à œufs « roux » (ou bruns). Pour des pondeuses à œufs blancs (type « Leghorn »), les animaux sont de format plus petit et ont une consommation sensiblement plus faible.

Tableau 3. Les performances-type des poulets de chair (souche semi-lourde)

Élevage chair	Performances optimales	Performances typiques en climat chaud	Remarque
Poids moyen poussin	40-45 g	38-45 g	Peu affecté - attention à l'hétérogénéité.
Poids moyen à 35 j	1,6 kg	1,3 - 1,5 kg	Un retard de croissance de plus de 300-400g à 42 j est anormal
à 42 j	2,1 kg	1,6 - 1,9 kg	
à 49 j	2,5 kg	2,0 - 2,3 kg	
Mortalité typique	3,5 %	5 – 8 %	Hors mortalité « accidentelle » (coup de chaleur)
Consommation cumulée 0-42 j	3,7 kg	3,1 - 3,4 kg	
Consommation quotidienne	60 g à 14 j 115 g à 28 j 160 g à 42 j	55 g à 14 j 100 - 105 g à 28 j 130 - 150 g à 42 j	
IC moyen (g aliment/poids vif)	1,65 à 35 j 1,80 à 42 j 1,95 à 49 j	1,70 à 35 j 1,88 - 1,95 à 42 j 2,05 - 2,10 à 49 j	Dépend de la concentration énergétique
Rendement moyen pour un poids vif (PV) de 2,1 kg	Carcasse éviscérée: 70 – 72 % du PV Filet: 16 – 18 % du PV Cuisses: 19 – 22 % du PV Ailes: environ 8 % du PV Abats: 4 % du PV		Le rendement en carcasse, filets, cuisses augmente avec le poids vif
Consommation d'eau	20°C: 1,8 x aliment; 25°C: 2,1 x aliment 30°C: 2,8 x aliment; 35°C: 4,5 x aliment		À titre indicatif.

● L'estimation des déjections

Pour estimer les effluents (et leur éventuelle valeur fertilisante), on peut très schématiquement estimer la quantité de déjections par la formule :

Déjections = (aliment distribué x MS aliment x 1 – digestibilité)/MS dans les fientes

La MS de l'aliment est de l'ordre de 88 %. La digestibilité apparente peut – par défaut – être fixée à 75 %. La MS des fientes dépend des conditions climatiques et du stockage.

La teneur en azote des fientes est de l'ordre de 4-5 %, principalement sous forme d'acide urique, et la teneur en phosphore de 2-2,5 %. Ces valeurs dépendent largement du type d'animal et de son alimentation.

Il faut ajouter aux fientes les apports, en poids et en composition, de la litière distribuée.

● Les bâtiments et le matériel

Les bâtiments doivent être adaptés au niveau d'intensification, à la taille de l'élevage, aux moyens disponibles (électricité...). Il convient donc d'adapter les principes généraux et les exemples proposés ici. Une des premières qualités des bâtiments est de permettre à l'élevage de se dérouler dans des conditions satisfaisantes de sécurité, d'hygiène et de facilité du travail.

Tableau 4. Normes d'implantation des bâtiments

Terrain	Plat, perméable, non inondable, sans nuisances (sonores par exemple) Abords propres et si possible végétation Si possible arbres d'ombrage à proximité (ne nuisant pas à l'aération) Loin d'un autre élevage (si possible 500 m)
Concession	Isolée des intrusions (voleurs, prédateurs, animaux en divagation) par une clôture efficace Facilement accessible à l'éleveur et aux fournisseurs Approvisionnement en eau de qualité Si possible raccordement électrique (éclairage nocturne, ventilation, etc.)
Distance entre bâtiments	Sujets du même âge: deux à trois fois la largeur du bâtiment Sujets d'âge différent ou espèces différentes: 100 m minimum
Orientation	Perpendiculaire aux vents dominants pour bénéficier de l'aération maximale De préférence orientation Est-Ouest pour minimiser l'incidence du soleil
Organisation	Stockage des fientes/du fumier loin des bâtiments d'élevage

● La construction

La lutte contre la chaleur peut être menée efficacement à partir de bâtiments fermés en ventilation dynamique. Mais cette technique nécessite de forts investissements en matériel et s'avère généralement très coûteuse en énergie (électrique). Les bâtiments sont donc généralement très ouverts : grillage sur les deux faces principales, exposées aux vents dominants. Le grillage commence le plus bas possible, à 30 cm de hauteur au maximum.

Un système de volets ou de bâches permet d'obstruer temporairement le bâtiment pour lutter contre la pluie, le soleil, le froid (démarrage) ou pour obscurcir le bâtiment.

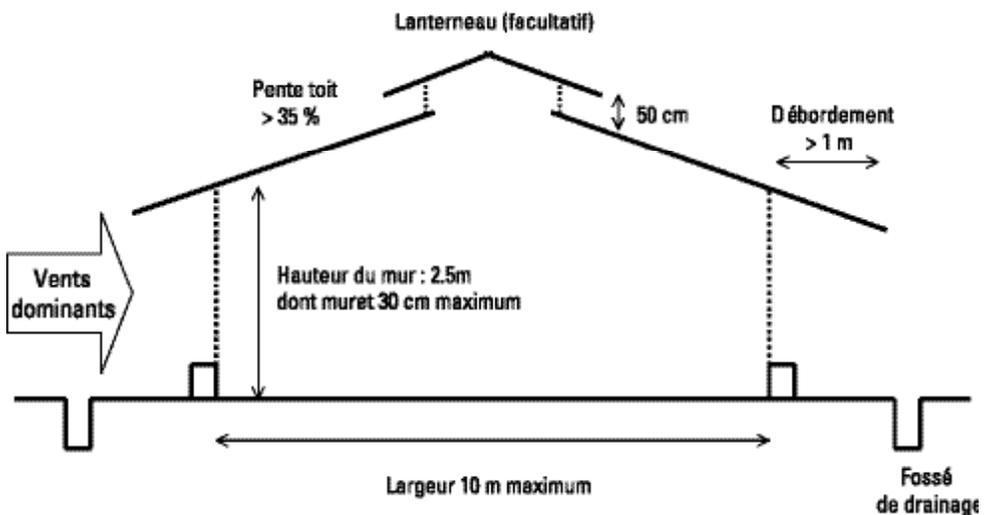
Le toit est construit avec une double pente et, si possible, une ouverture supérieure pour bénéficier d'un effet de cheminée. L'isolation de cette ouverture par rapport à la pluie et au soleil est obtenue soit avec un lanterneau, soit simplement avec un débordement d'un des pans du toit sur l'autre. La pente du toit est forte : 35-40 % (20° d'angle). Le toit déborde largement du poulailler (1 m par exemple) pour protéger l'intérieur du soleil et de la pluie. Il faut prévoir un drainage autour du bâtiment pour assurer une bonne évacuation des eaux de pluie.

Le sol est plat et dur. Un sol en ciment bien réalisé est plus facile à nettoyer qu'un sol en terre battue. Toutefois, il peut provoquer des problèmes de pattes si la litière est trop peu abondante.

Le bâtiment est pourvu d'un *magasin*, qui constitue une salle d'accès à l'élevage proprement dit. Il est divisé en trois parties :

- > un *local de stockage* pour l'aliment et le matériel (rangé sur des étagères ou pendu à des crochets) ;
- > un *local sanitaire* équipé d'un lavabo pour se laver les mains, de vêtements de travail strictement réservés à l'élevage et d'un pédiluve ;
- > un *local pour le bureau* où on trouve les documents d'élevage et la balance.

À défaut de *ce magasin*, l'entrée dans l'élevage est directe mais il faut maintenir le passage par un pédiluve fonctionnel et incontournable. Un exemple de schéma de bâtiment est proposé en figure 1.



➤ Figure 1. Exemple d'un bâtiment de type ouvert avec toit à deux pentes

● Le sol

Le sol est en terre battue ou de préférence en béton, couvert d'une couche épaisse de litière, qui peut être composée de copeaux de bois (non traité), de balles de riz (pas chez les jeunes animaux), de paille hachée, etc. Dans le cas de poules au sol, il est très avantageux d'avoir au moins une partie du bâtiment en caillebotis. Cela permet une meilleure hygiène, ainsi qu'une augmentation de la densité des animaux. Cette pratique est moins intéressante et plus difficile à gérer chez les poulets de chair.

● Le toit

La conception du toit modifie la température dans le poulailler. Dans un bâtiment de type fermé, il faut absolument une isolation efficace du toit, avec par exemple de la laine de roche ou de la mousse de polyuréthane. Dans un bâtiment ouvert, la nature du toit est également importante car un toit trop chaud réchauffe l'ambiance.

La tôle nue, qui constitue le matériau de couverture le plus fréquent, peut contribuer à un réchauffement important de l'air, notamment lorsqu'elle est rouillée ou sale (et donc plus foncée). Les solutions à mettre en œuvre dépendent des conditions techniques et économiques de l'exploitation. On peut citer :

- > *le nettoyage du toit et l'utilisation d'un revêtement clair ou réfléchissant.* Le simple badigeonnage à la chaux peut abaisser la température de plusieurs degrés ;
- > *l'arrosage périodique du toit avec de l'eau.* L'évaporation refroidit le toit ;
- > *la couverture du toit en tôle par une couche de paille, de feuilles, de palmes, etc.* permettant d'éviter l'incidence directe du soleil sur la tôle ;
- > *l'utilisation d'autres matériaux de toiture* comme des tuiles en terre disponibles dans certaines régions.

● La ventilation

Dans les bâtiments de type ouvert, la ventilation se fait en partie naturellement, d'où l'importance de l'orientation des bâtiments. Dans la plupart des cas, il est nécessaire de compléter cette ventilation par des brasseurs d'air. La solution la plus commune est celle de brasseurs longitudinaux qui assurent un bon renouvellement de l'air et une augmentation de sa vitesse de circulation.

En climat sec, la ventilation peut être complétée par la brumisation : de l'eau sous pression est vaporisée dans l'air. Le processus d'évaporation qui s'ensuit permet de rafraîchir l'ambiance de plusieurs degrés. Cette technique ne fonctionne pas dans une atmosphère déjà saturée en eau.

Dans les bâtiments de type fermé, la ventilation doit être étudiée avec précision afin de garantir un renouvellement et une vitesse d'air suffisante pour les animaux. En climat sec, on peut associer la ventilation dynamique du bâtiment à la brumisation ou à l'utilisation du *pad-cooling* : l'air entrant dans le bâtiment passe au travers de larges panneaux imprégnés d'eau et il est ainsi refroidi.

● Le matériel

Le matériel utilisé dépend en partie de la taille de l'élevage. Les matériels les plus sophistiqués et automatisés se justifient seulement dans de grandes unités de production.

Les *mangeoires* peuvent être de simples trémies en métal galvanisé ou en plastique, alimentées manuellement. Il est intéressant que ces trémies soient suspendues (limitation du gaspillage, accès difficile aux rongeurs). Elles sont progressivement élevées, au fur et à mesure de la croissance des animaux. À titre indicatif, leur hauteur doit correspondre à celle du dos de l'animal. On utilise des chaînes d'alimentation seulement dans de grands élevages, car si elles diminuent la manutention des aliments, elles présentent également des contraintes fortes au point de vue de l'investissement, de la maintenance, des pannes d'électricité et des coûts d'utilisation.

Les *abreuvoirs* les plus simples (abreuvoirs siphonides) peuvent être utilisés dans les plus petits élevages et même construits avec des matériaux de récupération. Il faut cependant veiller à ce qu'ils permettent la mise à disposition d'une eau de qualité en permanence. Pour cette raison, on a tout intérêt à utiliser des abreuvoirs *semi-automatiques* en cloche à suspendre et qui se remplissent d'eau neuve au fur et à mesure de la consommation. Ces abreuvoirs en matière plastique doivent être très faciles à nettoyer, car cette opération est quotidienne. Des systèmes entièrement automatiques d'abreuvement peuvent également être prévus pour les unités les plus importantes. Les pipettes par exemple permettent la mise à disposition d'eau toujours neuve puisqu'elle ne stagne pas dans un récipient avant d'être consommée. Il n'y a pas de mélange possible avec des résidus d'aliments ou des poussières. Dans tous les cas il est essentiel :

- > de veiller à la disponibilité permanente d'eau propre et pas trop chaude (éviter les réservoirs au soleil ou les protéger) ;
- > de limiter le gaspillage d'eau par le bon positionnement des abreuvoirs, afin de ne pas salir la litière. Dans le cas d'élevage sur caillebotis, les abreuvoirs sont placés dans cette zone.

Dans le cas d'élevages de pondeuses au sol, il est nécessaire de prévoir des *pondeirs*. Ceux-ci doivent être suffisamment nombreux pour éviter un engorgement aux heures de ponte. Les pondeirs collectifs sont généralement déconseillés, car ils peuvent provoquer des bousculades (dérangement des pondeuses, œufs cassés, œufs sales) ; de plus, ils rendent difficile la détection des poules couveuses. On opte donc plutôt pour des pondeirs individuels. Ceux-ci peuvent être fabriqués artisanalement. On prévoit un nid individuel pour cinq poules, ou à défaut 1 m² de pondeir collectif pour cent poules. Les nids de ponte doivent être nettoyés fréquemment.

Tableau 5. Normes de matériel

	Démarrage poulet	Croissance poulet	Finition poulet	Poulette	Ponte
Densité (animaux/m²)	30	Progressivement de 25 à 10 (ne pas dépasser 20- 25 kg/m ²)	10	8-10 (à 1 mois)	5-6 sur litière et 8 sur caillebotis
Abreuvoirs siphonide	1/50 poussins	1/50 poulets	1/50 poulets	idem poulets	1/30 poules
Automatique	1/70 poussins	1/70 poulets	1/70 poulets	idem poulets	1/50 poules
Linéaire	2 cm/animal	2-3 cm/animal	2-3 cm/animal	2-3 cm/animal	3 cm/animal
Pipettes	1/5-10 poussins	1/8 poulets	1/8 poulets	1/10 poulettes	1/5-8 poules
Mangeoires linéaires	2 plateaux/ 100 poussins	5 cm d'accès/poulet	5 cm d'accès/ poulet	idem poulets	10 cm d'accès/ poule
Trémie d'alimentation	2 plateaux/ 100 poussins	1 trémie/50 poulets	1 trémie/ 50 poulets	idem poulets	2-3 trémies/ 100 poules
Nid de ponte					1 nid de ponte/ 5 poules
Perchoirs					4-6 cm de perchoir/animal
Litière	Animaux au sol: 2 à 5 kg/m ² selon la nature du sol et de la litière (litière réduite sur sol bien sec)				
Eclairage	5 Watts/m ²	2 Watts/m ²	1 Watt/m ²	Selon croissance des animaux (retarder la maturité)	4-5 Watts/m ²
Durée de lumière	Maximum Éclairer la nuit si possible en continu ou en faisant un flash pour favoriser les consommation			lumière du jour (12-13 h) puis 13 h à 18 semaine puis + 30 min/semaine jusqu'à 16 h à 24 semaine	16 h
Chauffage	2-3 000 kCal/ 1 000 poussins			2-3 000 kCal/ 1 000 poussins	
Température minimale sous éleveuse	0-3 j: 36°C 4-7 j: 34°C	8-14 j: 32°C 15-21 j: 28°C		idem poussins	
Température minimale zone de vie	0-3 j: 29°C 4-7 j: 27-28°C	8-14 j: 26°C 15-21 j: 26-25°C 22-28 j: 25-21°C		17- 19°C idem poussins	

● L'alimentation

En élevage intensif, la production avicole dépend largement de la satisfaction alimentaire des animaux. Tout problème de qualité de l'aliment agit négativement sur l'IC (indice de consommation = aliment consommé/poids vif ou œufs produits). De plus, l'alimentation étant de loin le poste de dépense le plus important (70-80 % des coûts de production), une mauvaise alimentation compromet la rentabilité de l'activité.

● Les besoins des animaux

Les animaux ont des besoins :

- > *en constituants majeurs* : l'énergie, dont le besoin dépend fortement du climat (température) et les protéines (et leur équilibre en acides aminés), dont le besoin est moins sensible à la température ;
- > *en minéraux* : Ca, P, mais également oligo-éléments et minéraux permettant à l'animal de maintenir son équilibre osmotique (Na, K, Cl, etc.) ;
- > *enfin, en un ensemble de nutriments essentiels* comme les vitamines, la choline ...

Ces éléments doivent être trouvés dans l'alimentation. Les oligo-éléments et les vitamines sont apportés par le complément minéral et vitaminique (CMV ou premix) inclus dans l'aliment à une teneur variable, selon sa concentration (souvent 0,5 % ou 1 % de l'aliment).

Le tableau 6 donne des exemples de besoins des animaux. Ceux-ci sont classiquement exprimés comme proportion de l'aliment¹ car c'est le mode d'expression permettant le plus facilement de réaliser la formulation d'aliments. Mais pour adapter ces besoins², on a intérêt à rapporter ces données en consommation quotidienne (pour les poules) ou à l'énergie (pour les poulets) afin d'en vérifier la cohérence, quitte à recalculer ensuite la composition relative dans l'aliment.

Exemple de calcul de besoins d'aliments

Si le besoin en protéines d'une poule consommant 116 g d'aliment par jour est satisfait par un aliment à 170 g/kg de protéines, on en déduit que l'animal a besoin de $116 \times 0,170 = 19,7$ g de protéines par jour. Si la consommation est réduite à 80 g/jour (en cas de forte chaleur par exemple), l'animal a besoin d'un aliment titrant $19,7/0,08 = 246,5$ g/kg de protéines pour voir ses besoins satisfaits.

Ce type de calcul doit absolument être réalisé pour adapter les normes de besoins des animaux aux conditions réelles rencontrées. Il est indispensable, pour le taux de protéines, mais surtout d'acides aminés, de minéraux majeurs (Ca, P) et de CMV.

¹ Kcal/kg pour l'énergie, pourcentage ou g/kg pour les autres constituants.

² À une densité énergétique différente, ou à une ingestion moindre, etc.

Tableau 6. Besoins quotidiens des animaux - Apports minimaux à conseiller, dans le cas d'un aliment présenté en farine

	Poulet de chair		Poulettes	Poules en ponte			
	Démarrage : 0 - 10 j	Croissance 1 : 11 - 20 j			Croissance 2 : 21 - 34 j	Finition 1 : 34 - 42 j	Finition 2 : > 42 j
Quantité sur la période (g)	250-00	750-900	1 500-1800	1 200-1400	Selon durée	2700-2900	
Concentration en EM mini (Kcal/kg)	2900	3000	3000	3100	3100	2750	320 (2)
Protéines (MAT) (g/kg)	220	210	200	190	170	170	170
Lysine (g/kg)	12,5	12,0	11,0	10,0	9,0	7,5	7,8
Méthionine (g/kg)	5,2	5,0	4,7	4,5	4,1	3,4	4,0
Méthio. + cystéine (g/kg)	9,2	9,0	8,8	8,2	7,8	6,2	6,8
Ca (g/kg)	10,5	10,5	10	9,5	8,5	10,5 (1)	38
P total (g/kg)	9,0	8,1	8,0	7,2	7,2	7,0 (1)	5,4
P disponible (g/kg)	5,0	4,5	4,3	4,0	4,0	3,8 (1)	3,1

(1) en période de préponde (de 16 semaines à 2 % de ponte) le régime est enrichi en Ca et P notamment, pour s'approcher des besoins de ponte.

(2) EM par jour à 20°C. Le besoin en énergie dépend notamment des conditions de température. On pourra retenir que le besoin baisse de 3,5 Kcal/jour/°C soit une valeur de 284 Kcal/jour à 30°C. Pour un aliment à 2 750 Kcal/kg ces besoins en EM correspondent à 116 g d'aliment par jour (20°C) ou 103 g d'aliment/jour (30°C).

(3) Une partie du calcium peut être apportée séparément de l'aliment. Les poules le consomment en fonction de leur appétit et de leurs besoins spécifiques.

● Les apports des matières premières et la formulation

La formulation des aliments s'attache à proposer des formules répondant aux besoins des animaux à partir des matières premières disponibles. Il faut bien les connaître et les caractériser, et exprimer leur composition dans les mêmes unités que celles des besoins alimentaires. On utilise pour cela des tables de composition (cf. tableaux 5 et 6 du chapitre 721), qui sont ensuite adaptées à un contexte précis (caractéristiques locales de certaines matières premières).

La formulation est également une optimisation économique ; on cherche en effet à satisfaire les besoins au plus bas prix possible. Outre les contraintes de composition, on impose également à l'aliment certaines normes (minimum ou maximum d'incorporation de certaines matières premières, etc.). L'optimisation est généralement effectuée à l'aide de logiciels spécialisés, mais la simple fonction de *solveur* d'un tableur permet d'obtenir un résultat utilisable.

● Les additifs

Outre les vitamines et les minéraux indispensables dans le régime, plusieurs types de substances peuvent être incorporées dans l'aliment :

- > *des médicaments utilisés à titre préventif* : anticoccidiens notamment. Les réglementations dépendent des pays mais ils doivent toutefois être retirés de l'aliment quelques jours avant la commercialisation des poulets pour éviter la présence de résidus dans les produits. Ils sont déconseillés pour les poules pour la même raison ;
- > *des facteurs de croissance*. Classiquement, on utilise des substances antibiotiques à très faible dose pour optimiser les processus digestifs. La croissance des animaux est accélérée et l'homogénéité des lots est meilleure. D'autres facteurs de croissance permettant de réguler la flore intestinale peuvent être utilisés lorsque les antibiotiques sont interdits ;
- > *des enzymes*, qui permettent une meilleure utilisation digestive des rations, grâce notamment à une action sur les fibres alimentaires ou le phosphore phytique. On peut ainsi mieux valoriser des matières premières comme l'orge dont l'emploi est difficile sans ces additifs.

● La forme de présentation

La composition des aliments est primordiale, mais chez les volailles, la forme de présentation des aliments joue un rôle important. La granulation des aliments favorise ainsi la consommation et permet de limiter le gaspillage et le tri des aliments. De plus, elle permet de mieux valoriser les matières premières, notamment dans le cas de rations peu concentrées en énergie. Toutefois, cette opération de fabrication nécessite un matériel coûteux et beaucoup d'énergie électrique, ce qui la rend souvent inaccessible.

Dans ces conditions, il faut privilégier un broyage grossier des aliments : les volailles n'aiment pas les particules fines et tendent à les délaïsser. Les grosses particules, voire une certaine proportion de graines entières, sont au contraire très bien valorisées. À titre indicatif, il faut éviter d'avoir plus de 20 % de particules fines (< 1 mm) et surtout éviter au maximum les particules très fines. On peut parfois agglomérer ces dernières par l'ajout d'un peu d'huile ou de mélasse en fin de fabrication.

Outre la forme de présentation, un autre facteur important de la fabrication est la qualité du mélange : il faut s'assurer de la bonne homogénéité de l'aliment, notamment en raison des additifs ajoutés en faible quantité (CMV, acides aminés) qui doivent impérativement se retrouver distribués également entre tous les animaux.

● L'eau

La qualité et la régularité de l'approvisionnement en eau sont importantes. Il s'agit d'un élément essentiel et l'eau constitue un moyen important de lutte contre la chaleur chez la volaille (évaporation respiratoire). Il faut donc proposer une eau propre et fraîche, dans la mesure du possible. Ceci peut être obtenu en évitant un stockage au soleil, en provoquant des effets de *chasse d'eau* périodiques dans les canalisations, en utilisant des canalisations enterrées, etc. L'utilisation d'abreuvoirs semi-automatiques (type cloche) permet une meilleure gestion de l'eau que les abreuvoirs siphoniques.

L'appréciation de la qualité de l'eau doit se faire sur plusieurs critères et surtout être suivie dans la durée. Le tableau 7 donne des ordres de grandeur.

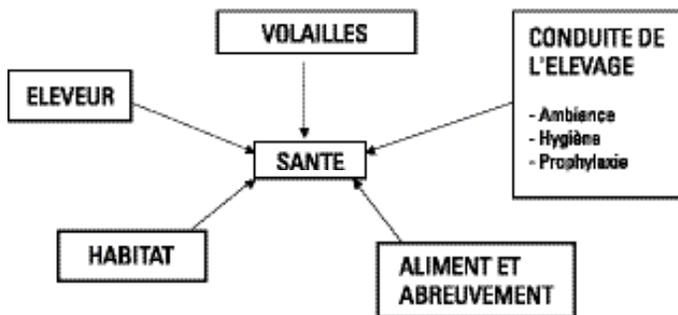
Tableau 7. Critères d'appréciation de la qualité de l'eau

	Eau potable	Eau suspecte	Eau mauvaise
Germes totaux	< 100/ml	1 000 – 10 000/ml	> 100 000/ml
Salmonelles	0/ml	> 0/ml	> 0/ml
Matière organique	< 1 mg/l	3 mg/l	> 5 mg/l
Nitrates	< 15 mg/l	15 – 50 mg/l	> 50 mg/l
Sulfates	< 200 mg/l		> 400 mg/l
Chlorures	< 200 mg/l		> 600 mg/l
Ammoniac	0 mg/l	2 mg/l	> 10 mg/l
Fer	< 0.2 mg/l	0.5 mg/l	> 1 mg/l
Zinc	< 5 mg/l	10 mg/l	> 15mg/l
Calcium	< 75 mg/l		> 200 mg/l
Magnésium	< 50 mg/l		> 150 mg/l
pH	6,5– 8	6-6,5 ou 8-8,5	< 6 ou > 8,5

● La pathologie et l'hygiène en aviculture

Le développement de l'aviculture semi-intensive conduit au rapprochement géographique des élevages (en particulier dans les espaces urbains et périurbains), à la concentration des animaux dans un endroit unique (le poulailler) et à l'utilisation de races exotiques plus productives mais également plus sensibles aux diverses pathologies.

Pour préserver la santé des animaux, il est préférable d'avoir recours à la prophylaxie sanitaire plutôt qu'à la thérapeutique : *mieux vaut prévenir que guérir*.



► Figure 2. Composantes de la pathologie

● Les caractéristiques de la pathologie en élevages semi-intensifs

● La pathologie mono et multifactorielle

La pathologie peut être liée à un facteur primaire qui déclenche la maladie (cf. tableau 8) ou à l'association de plusieurs facteurs.

Tableau 8. Pathologie monofactorielle

Cause unique	Etat pathologique	Prévention
Agent pathogène (virus, bactérie ou parasite)	Affection suraiguë	Déterminer l'origine du problème (sources, réservoirs, cycle, ...)
Toxine (issue de champignons ou de bactéries)	ou aiguë ou chronique	Identifier le mode de transmission
Produit toxique (aliment, eau, environnement)		Trouver le moyen de rendre les volailles non réceptives ou non affectées (protection immunitaire, sanitaire et médicale; règles d'hygiène)
Carence ou déséquilibre nutritionnel		
Élément de l'ambiance (température, aération, humidité)		

Deux types de pathologies multifactorielles existent :

- > *celles liées à l'accumulation de défaillances dans l'environnement des volailles.* Si un poulailler est mal désinfecté et humide, l'apparition des salmonelloses est fréquente sur de jeunes volailles. Un défaut de ventilation, des poussières ou un excès d'humidité combinés à des bactéries à tropisme respiratoire entraînent une pneumopathie.
- > *celles liées à l'association d'agents pathogènes :* un premier agent pathogène crée une perturbation chez l'individu et facilite l'installation d'un deuxième agent pathogène qui cause de graves dégâts : association par exemple de la maladie de Gumboro et d'une coccidiose.

Tableau 9. Origine des germes pathogènes

Sources (multiplication des micro-organismes)	Matières virulentes	Réservoir (conservation des germes pathogènes)	Vecteurs (transporteurs des germes pathogènes)
Animaux vivants (avant l'apparition des symptômes, malades ou guéris)	Matières fécales	Litières, fumiers	L'air: poussières
	Jetage	Poussières, duvet	L'eau polluée
	Duvet, plumes	Eau des abreuvoirs	Le matériel d'élevage et de soins
Animaux morts	Cadavres	Eau de ruissellement	Le matériel de conditionnement (alvéoles)
	Œufs	Sols d'élevage	L'aliment
	Denrées d'origine animale	Véhicules	Les véhicules
	Sous-produits et déchets de restauration		Les animaux
Rongeurs	Déjections, nids, cadavres	Rongeurs et invertébrés	Insectes, larves, vers...
Homme	Excréments, urine, crachats	Cheveux, mains, vêtements	Chaussures, véhicules

● Les maladies principales

Sans être exhaustifs, les tableaux 10, 11 et 12 présentent les principales maladies; ils tentent d'indiquer les signes les plus caractéristiques de chaque maladie mais, dans la mesure du possible, il est recommandé d'avoir recours au laboratoire pour poser un diagnostic sûr.

Tableau 10. Maladies parasitaires des volailles

Maladies parasitaires	Troubles nerveux	Troubles respiratoires	Troubles digestifs (intestins, foie, rate)	Troubles de l'appareil reproducteur	Autres	Diagnostic et traitement
Vers ronds (hétérakis dans coeca, <i>Ascaris</i> dans intestin)	Troubles nerveux pour <i>Ascaris</i>		Inflammation des caeca pour hétérakis Diarrhée parfois mousseuse, Inflammation du tube digestif pour <i>Ascaris</i>	Baisse de ponte	Baisse de l'état général, anémie (crête pâle), amaigrissement	Diagnostic: – rasclage pointe du caecum, visible à la loupe et à l'œil nu si nombreux hétérakis – présence de vers blancs/ <i>Ascaris</i> Traitement : lévamisole, tétramisole, mébendazole (interdit chez pondeuses), fenbendazole, flubendazole, pipérazine
Taenia ou vers plats	(troubles chez le poussin)				Amaigrissement important	Diagnostic: autopsie sur animal fraîchement mort : vers amalé visible à l'œil nu ou au microscope Traitement : niclosamide dans l'aliment ou en comprimés, praziquantel, fenbendazole dans l'aliment
Coccidiose À partir de 3 semaines			Entérite: points blancs, muqueuse toute blanche ou pétiées, Inflammation des caeca Diarrhée	Baisse de ponte	Retard de croissance	Diagnostic: microscopie Traitement: sulfamides–diaveridine (toxicité), Sulfamidéspyriméthamine (Pyrisul), toltrazuril (Baycox), amprolium Vaccins : début, surtout reproducteurs * attention : chute de ponte chez les pondeuses et problèmes d'éclababilité

Tableau 11. Maladies bactériennes de volailles

Maladies bactériennes	Troubles nerveux	Troubles respiratoires	Troubles digestifs (intestin, foie, rate, reins)	Troubles de l'appareil reproducteur	Autres	Diagnostic et traitement
Mycoplasmoses ou maladie respiratoire chronique (MRC) très pathogène Morbidité élevée Mortalité faible		Eternuements, écoulement nasal et oculaire, Inflammation des sacs aériens, pneumonie, sinusite	Souvent gros foie et grosse rate	Baisse de ponte		Diagnostic sérologique (prises de sang) Traitement à base d'antibiotiques : – Macrolides (Erythromycine) – Quinolones (Enrofloxacin)
Salmonellose Pullorose chez les jeunes : symptômes digestifs. Mortalité entre 5 et 15 j Typhose chez les adultes : symptômes génitaux	– Jeunes : torticolis – Adultes : parfois	– Jeunes : parfois nodules pulmonaires – Adultes : râles respiratoires	– Jeunes : diarrhée blanche crayeuse adhérente, foyers de nécrose hépatique – Adultes : diarrhée jaune vert + sang,, grosse rate, foie vert bronze	Adultes : ovaires flétris, ponte abdominale	Abattement Crête plus ou moins violacée Arthrite Jeunes : nodules sur le cœur	Diagnostic : – Bactériologique : foie, rate, œuf, duvet, écouvillons du cloaque, litière – Sérologique : prises de sang Traitement : A base d'antibiotiques – Quinolones : Fluméquine – Polypeptides : Colistine
Colibacillose Plusieurs formes. Contamination souvent à partir d'eau souillée par des fientes		Forme respiratoire : Souvent en complication de MPC Symptômes respiratoires : râles, toux, éternuements, jetage, larmolement. Atteinte inflammatoire du tractus respiratoire	Hypertrophie du foie et de la rate. Présence de liquide inflammatoire dans l'abdomen. Coligranulomatose Dépôt minéraux sur les reins	Forme génitale : Avant l'entrée ou pendant la ponte Inflammation de l'ovaire avec ponte intra abdominale (aspect cuit)	Omphalite : jeunes poussins avec altération du sac vitellin Arthrite Forme septicémique : jeunes oiseaux - mortalité brutale après abatement, baisse de l'appétit	Diagnostic : Bactériologique : foie, ovaire, caeca, cœur Traitement à base d'antibiotiques Quinolones : Fluméquine Polypeptides : Colistine

Tableau 12. Maladies virales des volailles

Maladies virales	Troubles nerveux	Troubles respiratoires	Troubles digestifs (intestin, foie, rate, reins)	Troubles de l'appareil reproducteur	Autres	Diagnostic de confirmation
Newcastle Mortalité : 0 à 100 % Morbidité : 100 % Oiseaux de tout âge	Torticolls, paralysie, contractions, troubles de l'équilibre	Respiration haletante, écoulement nasal et oculaire, trachéite hémorragique	Diarrhée profuse verdâtre (±) Hémorragies en damier sur le proventricule, et points rouges sur gésier, cloaque, sur certaines portions du tube digestif (plaques de Peyer et amygdales caecales)	Chute brutale de ponte. Hémorragies de la grappe ovarienne (±)	Manque d'appétit, abattement et plumes ébouriffées	Diagnostic de laboratoire – HISTO (cerveau, poumons, trachée, foie, rate) – SERO (prises de sang) seule possibilité sur oiseaux cliniquement malades depuis plus de 7 jours Note : la grippe aviaire (ou influenza) est également une maladie virale. Elle est indiscernable cliniquement de la maladie de Newcastle
Gumboro Animaux de 3 à 8 semaines Mortalité pendant 3 à 4 j (en général inférieure à 10 %) Morbidité parfois importante (80 %) Allure en pic caractéristique Souvent associé à la coccidiose			Diarrhée blanche abondante Pétéchies (tâches rouges) au niveau de la jonction entre le proventricule et le gésier Décoloration du foie Gonflement et décoloration rénale		Frilosité, prostration, manque d'appétit, plumage ébouriffé et souillé, inflammation de la bourse de Fabricius (surface brillante et contenu parfois avec du pus) et hypertrophie puis atrophie (3j après le début de l'infection), pétéchies musculaires (intérieur des cuisses, bréchet), sècheresse des muscles pectoraux	Diagnostic : – HISTO : prélèvement de la bourse de Fabricius – SERO : prises de sang Diagnostic différentiel Coccidiose aiguë, ND, syndrome hémorragique d'origine toxique (sulfamides, aflatoxines)

Tableau 12 (suite). Maladies virales des volailles

Maladies virales	Troubles nerveux	Troubles respiratoires	Troubles digestifs (intestin, foie, rate, reins)	Troubles de l'appareil reproducteur	Autres	Diagnostic de confirmation
<p>Marek Poulettes et poudeuses À partir de 4 semaines mais généralement à l'entrée en ponte Mortalité importante (30 - 90 %) dans la forme aiguë, précoce, et plus limitée dans la forme tardive (10 %)</p>	Paralysie, grand écart torticolis, hypertrophie nerfs sciatiques, plexus brachial		Tumeurs : (masses blanchâtres imbriquées dans l'organe) proventricule, foie, rate, hypertrophie du foie et de la rate, gros jabot, tumeurs rénales	Tumeurs des gonades ou dégénérescence de la grappe ovarienne. Baisse importante de la production d'œufs	Tumeurs : œil, cœur, muscles, follicules plumoux (saillies cutanées). Extrême maigreur	Diagnostic : HISTO : NERFS, foie, rate, reins, tumeurs
<p>Bronchite infectieuse Volailles de tout âge signes plus marqués et plus graves chez les jeunes. Mortalité : 1 %/jour pendant 2 - 3 j Morbidité importante</p>	Toux, râles respiratoires Écoulement nasal Conjonctivite		Atteinte rénale avec gonflement, inflammation et dépôts minéraux blanchâtres sur le rein (urates)	Baisse de ponte Œufs rugueux déformés et blanc liquide Atrophie oviducte Ponte abdominale Sujets en boule		Diagnostic : - HISTO : trachée - SERO (prises de sang)
<p>Variole Volailles de tout âge Élevages industriels: surtout en fin de production</p>		Fausse membranes dans la bouche			Pustules sur la crête et les barbillons	Diagnostic : Clinique Traitement: glycérine iodée localement (1 part d'iodé pour 3 part de glycérine) Injection d'acide phéniqué
<p>Encéphalomyélite aviaire Symptômes uniquement sur les poussins Morbidité 60 % Mortalité entre 20 et 50 %</p>	Paralysie Incoordination motrice Tremblements de tête et cou			Chute de ponte chez les adultes de 5 à 10 %	Position assise sur les pattes	Diagnostic : clinique sur les poussins Diagnostic différentiel : encéphalomalacie, carence en vitamine E/Se Histologique : prélèvements du gésier, proventricule, cerveau, pancréas, duodénum

● La prévention

● Prophylaxie sanitaire

Les barrières sanitaires dans le temps

Ce sont des mesures de limitation du développement des germes :

- > élevage en bande unique : une seule production, une seule origine et un seul âge par élevage, au moins par groupe de bâtiments ;
- > nettoyage et désinfection en fin de bande (voir la description) ;
- > maintien des conditions d'élevage : propreté, ambiance, alimentation, abreuvement.

Les barrières sanitaires dans l'espace

Ce sont des mesures d'isolement afin d'empêcher l'introduction de contaminants par les vecteurs inanimés ou animés. Elles sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13. Les barrières sanitaires dans l'espace

Vecteurs	Barrières sanitaires au niveau des élevages
Eau	Potabilité chimique et bactériologique: eau du réseau public (attention au chlore pour les vaccinations avec eau de boisson)
Aliment	Contrôle de la qualité microbienne des matières premières
Matériel	Entretien régulier
Sol	Sol bétonné et isolé
Litière	Eviter l'humidité excessive (moisissures, souillures) - dératisation permanente du lieu de stockage de la litière propre
Animaux jeunes	Contrôle de la qualité sanitaire avant la mise en place
Cadavres	Disposer d'un moyen d'élimination: enfouissement - incinération
Fumier-lisier	Stockage éloigné - enfouissement
Animaux sauvages: carnivores, rongeurs	Elimination des cadavres- clôture - dératisation permanente extérieure - bâtiments étanches aux rongeurs - éviter le gaspillage des aliments et de l'eau
Animaux domestiques	Interdiction
Insectes	Désinsectisation en fin de bande- propreté des abords: désherbage, élimination des cadavres
Homme	Chaussures: pédiluve; pas de personne étrangère (en particulier venant d'autre élevage); propreté des vêtements

N.B. Ces informations sont indicatives. Leur respect permet d'éviter nombre de risques sanitaires.

● Les étapes du nettoyage et de la désinfection

Première étape

Il faut sortir le matériel et la litière (réservoir potentiel de plusieurs maladies) juste après le départ des animaux. La litière doit être évacuée hors de l'élevage ou, mieux encore, brûlée ; il ne faut pas oublier de nettoyer également les déchets présents aux abords du bâtiment, ceux-ci devant être considérés comme partie intégrante du poulailler. Enfin, il est nécessaire de racler le sol et de procéder à un premier balayage du poulailler.

Deuxième étape : nettoyage du bâtiment et des abords

Un bon nettoyage permet d'éliminer une bonne partie des germes. La désinfection est efficace seulement si elle est précédée d'un nettoyage-dépoussiérage soigné et méticuleux. En effet, l'activité du désinfectant est fortement réduite par la présence de poussières, souillures ou fientes.

Pour être efficace, le nettoyage doit respecter les conditions suivantes :

- > les parois et surfaces doivent être aussi lisses que possible, sinon les germes risquent de s'y incruster ;
- > à l'aide d'une brosse et d'un balai, il faut récurer le sol sans oublier les murs et le plafond ; il est préférable d'utiliser un nettoyeur haute pression pour les grands bâtiments ;
- > le nettoyage se fait avec de l'eau potable mélangée à un détergent à propriétés moussantes qui permet de mieux détacher les matières organiques collées aux parois.

Troisième étape : nettoyage du matériel d'élevage

Le matériel de démarrage, les abreuvoirs et mangeoires sont mis à tremper dans de l'eau additionnée de détergent avant d'être vigoureusement brossés puis mis à sécher.

Quatrième étape : première désinfection

La désinfection du bâtiment

La désinfection du bâtiment peut se faire le jour même ou le lendemain du nettoyage sur des surfaces détrempées ou légèrement humides, pour faciliter la pénétration de la solution désinfectante et améliorer son efficacité. L'application de la solution doit être homogène et régulière, sans oublier le plafond. On peut utiliser un pulvérisateur manuel, un brumisateur à moteur électrique ou thermique ou un nettoyeur à haute pression, à pression et débit réglables.

Exemple de dilution de la solution désinfectante

- dilution préconisée de 0,5 %, soit 1/2 litre de désinfectant pour 100 litres d'eau ;
- un litre de la solution désinfectante pour 4 m² de surface à traiter ;
- pour une surface de 400 m² (sol + mur), il faut donc utiliser 100 litres de solution désinfectante soit 0,5 litre du désinfectant.

La désinfection des sols

Les sols en terre battue sont plus difficiles à désinfecter que les sols en béton. Il est possible d'utiliser de la soude caustique à 1 % ou une solution de formol à 10 % ; le port de lunettes, de gants de protection et d'un masque à gaz est obligatoire. En cas de problèmes de parasites à répétition dans des poulaillers à sols en terre battue, le mieux est de racler le sol sur une épaisseur d'une dizaine de centimètres et de remettre une couche de terre humide et compactée. Un épandage de chaux vive durcit cette nouvelle couche. L'épandage de sulfate de fer en poudre ou l'arrosage du sol avec une solution à 10 % est également recommandé en cas de problèmes de vers à répétition (ascaris).

Pour les coccidioses, il existe peu de solutions vraiment efficaces. La chaleur (flamme ou vapeur d'eau sous pression), bien qu'efficace, est difficile à mettre en œuvre. Les produits chimiques actifs contre les oocystes de coccidies tels le bromure de méthyle, l'ammoniaque et le sulfure de carbone sont toxiques, donc difficiles à utiliser de façon courante. L'Oo-cide_{ND}, fabriqué par le laboratoire Antec International, est actif contre les coccidies, les bactéries, les virus et les champignons.

La désinfection du matériel

Pour le matériel, une méthode simple et efficace de désinfection consiste à procéder à un nettoyage puis à un trempage de ce matériel dans une solution désinfectante pendant un temps suffisamment long (10 à 15 minutes avec un produit à base d'iode par exemple) et de laisser ensuite sécher sans rincer. Le désinfectant utilisé ne doit pas laisser de résidus sur le matériel, surtout pour les abreuvoirs. Il faut utiliser des désinfectants pour l'eau de boisson comme les produits à base d'iode ou de peroxyde de chlore par exemple. Une fois désinfecté et séché, le matériel doit être stocké dans un endroit propre et lui aussi désinfecté afin d'éviter les recontaminations.

La désinfection des annexes

Circuit et réservoir d'eau sont désinfectés avec les produits préconisés pour le matériel et pour le bâtiment de stockage des aliments. La procédure est identique pour le bâtiment d'élevage (il ne faut pas oublier les abords du poulailler). Les boîtes à poussins et tous les résidus de litière, plumes ou autres doivent être balayés et brûlés. On peut alors pulvériser du crésyl ou du formol à 10 % sur une largeur de deux à trois mètres autour du bâtiment.

Cinquième étape : période de vide sanitaire

C'est seulement après cette première désinfection que commence le vide sanitaire proprement dit. Pendant cette période, le désinfectant prolonge son action qui est renforcée par un bon assèchement du sol et du bâtiment. L'humidité résiduelle dans le bâtiment est un facteur de développement des microbes accentué par la chaleur des régions tropicales. La durée moyenne d'un bon vide sanitaire est de quinze à vingt jours (temps de séchage complet du bâtiment).

Pendant ce laps de temps, il faut éviter une recontamination du poulailler qui détruirait tout le travail effectué. Il est donc nécessaire de mettre en place des pédiluves et de prévoir des bottes et des vêtements propres réservés aux employés et servant uniquement au travail effectué dans les poulaillers. Il faut aussi penser à mener une lutte contre les rongeurs. Ce n'est pas parce que le bâtiment est vide qu'il ne faut pas en protéger l'accès.

Sixième étape : seconde désinfection

Après la mise en place de la litière et du matériel, il est souhaitable de procéder à une seconde désinfection par fumigation ou thermonébulisation ; durant cette opération, le bâtiment est fermé de la façon la plus étanche possible.

En conclusion, comme les jeunes volailles sont particulièrement réceptives aux maladies tant qu'elles ne sont pas immunisées, la désinfection est obligatoire pour assurer un bon démarrage. Son complément indispensable est la méthode d'élevage en âge unique et en bande unique. En effet, la présence d'autres volailles, surtout d'âge différent, peut entraîner une recontamination rapide des bâtiments d'élevage, même parfaitement désinfectés.

Tableau 14. Mesures d'hygiène préventive pour les poulaillers en production

Contre les insectes	Sols, murs, outils, pondoirs	Insecticide une fois par semaine
Contre les microbes	Abreuvoirs	Désinfecter et rincer une fois par semaine

Tableau 15. Mesures générales d'hygiène contre les microbes

Véhicules, outils	Désinfecter après chaque transport ou en cas d'encrassement important
Pédiluves	Renouveler le contenu du bac au moins une fois par semaine et deux fois en cas d'encrassement important. Un pédiluve sale est inefficace voire dangereux
Lieu de stockage des œufs et du matériel d'élevage	Désinfecter tous les jours après la fin du travail
Bottes	Désinfecter tous les jours après le nettoyage à la fin du travail

Tableau 16. Propriétés des désinfectants usuels

	Actif sur les virus	Actif sur les bactéries	Actifs sur les œufs et larves de parasites	Utilisation dans le pédiluve
Eau de javel	++	+++	-	0
Crésyl	++	+++	+++	+++
Phénol	+++	+++	+	+++
Soude caustique (8 g/l)	+	+++	+++	+
Composés iodés	+++	+++	+	0
Formol gazeux	++	+++	-	0

Tableau 17. Modalités d'emploi des désinfectants

Produits	Mode d'emploi	Doses	Caractéristiques particulières
Eau de javel	Lavages, brossages, pulvérisations	10 % dans l'eau	Actif sur des surfaces propres - corrosif pour le matériel métallique - activité diminuée en présence de savon
Crésyl	Lavages, brossages Fumigations	4 % dans l'eau 5 g/m ³ , porter à ébullition	Action renforcée par la chaleur et l'humidité
Phénol	Lavages, brossages, pulvérisations	1 à 3 % dans l'eau	Très caustique dès la concentration de 20 g/l d'eau
Soude caustique	Lavages, épandages au sol, brossages	1 à 3 % dans l'eau	Très caustique et dangereux pour l'homme et le matériel : utiliser des gants et bottes de caoutchouc, des lunettes et un arrosoir en plastique, rincer le matériel à l'eau clair très vite après usage.
Composés iodés	Lavages, brossages, pulvérisations	1,5 à 2 % dans l'eau	Inactifs en présence de saleté, poussière (mauvais lavage du bâtiment). Très corrosif pour les métaux, employer des matières plastiques.
Formol du commerce	Lavages, brossages, pulvérisations Fumigations	3 à 5 % dans l'eau 40 cc formol + 40 cc eau + 20 g de permanganate de potassium/m ³	Fumigation dangereuse pour les voies respiratoires. Actif si bâtiment clos pendant 12 heures, température 25°C, hygrométrie 80 %. Légèrement caustique pour les mains

● La prophylaxie médicale

Les vaccins contre les maladies virales

Il existe deux types de vaccins :

- > des vaccins vivants très fragiles administrés en eau de boisson (vaccination de groupe) ou par trempage du bec ou instillation oculaire (vaccination individuelle), voire en nébulisation sur les animaux ;
- > des vaccins tués injectables.

Il importe de respecter certaines règles pour assurer une vaccination efficace : bonne conservation du vaccin (entre +2°C et +8°C, à l'obscurité) ; utilisation d'eau de reconstitution potable sans antiseptique (attention à l'eau chlorée des réseaux publics) ; administration vaccinale rapide (moins de deux heures après reconstitution) ; utilisation de matériel propre. Lors de vaccination en eau de boisson, il faut assoiffer les animaux, utiliser des abreuvoirs en plastique propres mais sans trace de détergent ou d'antiseptique, et enfin vérifier que le nombre d'abreuvoirs est suffisant pour le nombre d'animaux.

Les programmes de vaccination doivent être établis en fonction de la situation épidémiologique et il n'existe pas de protocole à toutes épreuves. Les programmes appliqués au Sénégal des tableaux 18, 19 et 20 sont donnés à titre indicatif.

Chimioprévention des maladies parasitaires

- > *le contrôle des coccidioses* : il est préférable d'utiliser un aliment contenant déjà un anticoccidien à faible dose plutôt que de procéder à des traitements systématiques. Le but est de limiter la présence excessive d'ookystes sans les éradiquer complètement, ce qui permet de maintenir l'immunité chez l'animal ;
- > *le contrôle des vers* : le citrate de pipérazine est utilisé contre les ascaris en alternance avec du lévamisole contre les nématodes digestifs et respiratoires.

Chimioprévention des maladies bactériennes

Il n'y a pas de chimioprévention si ce n'est au moment de la mise en place des poussins pour limiter les infections de démarrage, particulièrement liées au stress.

Tableau 18. Programme de prophylaxie pour les poulets de chair

Âge	Maladie	Produit ou vaccin	Administration
1 jour	Newcastle	Inactivé huileux	Injection - dose
	Newcastle	Hitchner B1	Trempage du bec
2 à 4 jours	Prévention des infections du démarrage	Anti-infectieux (colistine) + vitamines	Eau de boisson
entre 10 et 12 jours	Gumboro	Vaccin vivant	Goutte dans l'œil (ou eau de boisson)
les 2 jours suivant		Complexe de vitamines	Eau de boisson
entre 18 et 21 jours	Gumboro	Vaccin vivant	Eau de boisson
les 2 jours suivants		Complexe de vitamines	Eau de boisson

Tableau 19. Programme de prophylaxie pour les poulettes

Âge	Maladie	Médicaments ou vaccins	Administration et posologie
1 jour	Newcastle	Inactivé huileux Hitchner B1	Injection - dose Trempage du bec
2 à 4 jours	Prévention des infections du démarrage	Anti-infectieux (colistine) + vitamines	Eau de boisson
7 jours	Rappel Marek (dans les zones à risque)	Vaccin lyophilisé HVT	Injection 1 dose
10 à 12 jours	Gumboro (dans les zones à risque)	Vaccin inactivé injectable	Injection 1 dose
2 à 3 jours après	Complexe de vitamines		
14 jours	Gumboro	Vaccin vivant	Eau de boisson ou goutte dans l'œil
entre 22 et 25 jours	Gumboro	Vaccin vivant	Eau de boisson
2 à 3 jours après	Complexe de vitamines		Eau de boisson
35 jours	Newcastle	La Sota ou Clone 30	Eau de boisson ou goutte dans l'œil
2 à 3 jours	Complexe de vitamines		Eau de boisson
entre 5 et 7 semaines	Picage	Debecquage	
42 jours	Vers ronds	Pipérazine ou Lévamisole	0,3 g/kg de poids vif dans leau de boisson 20 mg de matière active/kg de poids vif (eau de boisson)
8 semaines	Newcastle Variole	Inactivé huileux Vaccin vivant	Injection 1 dose Transfixion à l'aile
2 à 3 jours	Complexe de vitamines		Eau de boisson
70 jours	Vers ronds	Pipérazine ou Lévamisole	0,3 g/kg de poids vif eau de boisson 20mg de matière active/kg de poids vif eau de boisson
2 à 3 jours	Complexe de vitamines		Eau de boisson
18 semaines	Vers ronds	Pipérazine ou Lévamisole	0,3 g/kg de poids vif eau de boisson 20 mg de matière active/kg de poids vif eau de boisson
	Newcastle	Inactivé huileux	Injection 1 dose
2 à 3 jours après	Complexe de vitamines		Eau de boisson

Prévention coccidieuse :

- utiliser un aliment contenant un anticoccidien jusqu'à 14 semaines d'âge ;
- effectuer des contrôles de laboratoire à 1 mois, 2 mois et 3 mois avant d'effectuer d'éventuels traitements dans l'eau de boisson.

Tableau 20. Programme de prophylaxie pour les pondeuses**Maladie de Newcastle**

- Vaccination par injection d'un vaccin inactivé huileux à l'entrée en ponte
- Contrôle de la protection vaccinale par analyses au laboratoire de prises de sang effectuées 4 à 6 semaines après la vaccination
- En début de période à haut risque de contamination par le virus (vers décembre ou janvier au Sénégal), vérifier que la protection vaccinale est suffisante par envoi au laboratoire de prises de sang pour analyses sérologiques
- Rappel Newcastle par injection ou administration de vaccin dans l'eau de boisson (La Sota ou Clone 30) à 70 semaines si les poules sont gardées en production

Coccidioses

- Ne jamais faire de traitements anticoccidiens pendant la ponte sans diagnostic de laboratoire

Traitement vermifuge des pondeuses dans l'eau de boisson en fonction du poids vif

- Traitement des poules systématique toutes les 6 à 8 semaines
- Choisir un produit vermifuge et connaître sa posologie en quantité de produit par unité de poids vif : en général, gramme de produit/kg de poids vif
- Déterminer la quantité de produit nécessaire = posologie x poids total du troupeau (nombre de sujets x poids vif moyen)
- Déterminer la quantité d'eau consommée en 8 à 12 heures, attention, la consommation d'eau peut varier considérablement en fonction de la température (de 250 à 600 ml/poule/jour)
- Faire une première distribution de vermifuge en début de matinée (vers 7-8 heures) : la moitié de la dose calculée; puis une deuxième distribution de l'autre moitié de la dose en début d'après-midi quand l'eau médicamenteuse du matin est terminée

● La conduite et la gestion des animaux

Cette partie est restreinte aux éléments les plus marquants ou spécifiques.

● Le poulet de chair

Le *guide d'élevage* de la souche utilisée donne à l'éleveur beaucoup d'indications générales et spécifiques à la souche. Il convient de franchir successivement les étapes suivantes :

- > préparation des bâtiments ;
- > réception, vérification et tri des animaux ;
- > démarrage dans une zone restreinte et chauffée : même en milieu tropical, les jeunes animaux peuvent souffrir du froid. L'éleveuse est généralement à gaz. La chaleur doit être contrôlée ainsi que la position des poussins : s'ils sont groupés sous le radiant ils peuvent avoir trop froid ; s'ils sont éloignés du radiant ils peuvent avoir trop chaud ; si la répartition est asymétrique ils risquent les courants d'air ou un mauvaise installation ;
- > vérification au moins quotidienne du bon fonctionnement et nettoyage des abreuvoirs ; approvisionnement en eau et aliment, ramassage quotidien des cadavres ;
- > cahier d'élevage avec tous les événements et pesée hebdomadaire d'un échantillon de 100 animaux ; enregistrement sur une courbe et calcul de l'IC ;
- > vente des animaux ;
- > nettoyage et désinfection, vide sanitaire.

● La pondeuse

Des éléments importants sont à prendre en considération :

- > démarrage des animaux comme les poulets de chair, en respectant au mieux une courbe de croissance «objectif» afin que la maturité sexuelle des animaux arrive à un poids corporel convenable. Il convient pour cela de se référer au *guide d'élevage* de la souche ;
- > pesée des animaux. La pesée se fait à heure fixe. La pesée individuelle d'une centaine d'animaux permet d'obtenir des données fiables. On peut par exemple réaliser un petit parc amovible en grillage, le positionner au milieu du parquet d'animaux, et peser l'ensemble des volailles ainsi encerclées. Outre le suivi du poids moyen, on contrôle l'homogénéité du lot : 80 % des poids enregistrés doivent se situer dans une fourchette maximale de variation de 10 % par rapport la moyenne ;
- > tri des animaux faibles ou malades ;
- > débecquage de sept à neuf semaines : un simple époutage à huit ou dix jours n'est pas suffisant ; s'il est trop sévère, il représente une cause d'affaiblissement des animaux et d'hétérogénéité des lots. Le débecquage est particulièrement indispensable dans des poulaillers ouverts (très lumineux) et pour des animaux nerveux (type Leghorn) afin d'éviter au maximum le picage et le gaspillage d'aliments ;
- > respect des programmes d'éclairage conseillés dans les guides d'élevage de la souche. De manière générale, si le poids des animaux est satisfaisant, on peut suggérer une stimulation lumineuse d'une durée de deux à quatre heures le matin à partir de l'âge de dix neuf semaines. Si la croissance est trop lente, il vaut mieux retarder le début de la ponte, en évitant absolument de faire une stimulation lumineuse ;
- > tenue d'un cahier de ponte bien documenté, avec les quantités d'aliment consommées et d'œufs produits. Des tels indicateurs permettent de déceler assez précocement des problèmes d'élevage, d'alimentation, etc. Ils permettent aussi d'optimiser la gestion technico-économique de l'activité et de réformer les lots au moment le plus opportun ;
- > réforme des animaux, planifiée pour que les animaux partent dans un laps de temps assez court et laissent un vide sanitaire suffisant avant l'arrivée de la nouvelle bande.

● La gestion technico-économique

Quelques *indices* techniques permettent de piloter l'élevage et d'effectuer des comparaisons (d'une bande à l'autre, entre élevages, avec les performances théoriques) :

- > taux de mortalité total et par tranche d'âge ;
- > durée du cycle (production + vide sanitaire) ;
- > poids et âge moyen à l'abattage ; poids à âge-type (35 jours, 42 jours, etc.) ;
- > GMQ = gain moyen quotidien, instantané (semaine par semaine) et cumulé sur la bande ;
- > IC = indice de consommation, instantané et cumulé, pour les jeunes et les pondeuses ;
- > productions (nombre d'œufs, poids moyen des œufs) pour les pondeuses.

Il faut interpréter ces indices :

- > par rapport aux références locales ;
- > en comprenant bien ce qu'ils signifient : par exemple un IC de 2 avec un aliment à 3 250 kcal/kg correspond à la même consommation énergétique qu'un IC de 2,36 avec un aliment à 2 750 kcal/kg.

● Le bilan économique

Il peut être très simplement réalisé en comparant les dépenses correspondant aux consommations intermédiaires et les recettes provenant de la vente des produits. Il s'agit de n'oublier aucun poste, et d'employer toujours le même mode de calcul pour comparer des bandes entre elles ou par rapport à une référence.

Tableau 21. Exemple de calcul de bilan économique simplifié en poudeuse (en francs CFA)

Poste	Quantité	Prix unitaire	Prix
Dépenses			
Poussins	1 000	550	550 000
Aliment démarrage	4 kg/poussin, 1 000 poussins	180	720 000
Aliment poulette	6 kg/poulette, 950 poulettes	150	855 000
Aliment poudeuse	45 kg/animal, 900 poudeuses	170	6 885 000
Litière	Estimation forfaitaire		10 000
Vaccins/médicaments	Total		337 500
Alvéoles	9 000	50	450 000
Divers consommables, eau, électricité	Estimation forfaitaire		400 000
Total dépenses			10 207 500
Recettes			
Total œufs	270 œufs/poule départ	45	11 542 500
Ventes réformes	900	1 500	1 350 000
Total recettes			12 892 500
Marge brute	Hors amortissement et MO		2 685 000
	Par poule départ (= par place)		2 826
	Par œuf		10,5

En production de volailles de chair, le besoin de trésorerie est limité dans le temps puisque le revenu d'une bande peut financer la suivante. En revanche, en production d'œufs, il faut prévoir un important financement puisque les premiers revenus apparaissent en début de ponte (vers cinq mois) après qu'ait été réalisé un investissement très important en achat de poussins et en aliment. L'activité ne devient bénéficiaire que longtemps après (vers cinquante semaines).

L'AVICULTURE TRADITIONNELLE

L'aviculture *traditionnelle* ou *villageoise* a pour objectif la production de volailles et d'œufs, dans le cadre d'une exploitation familiale, avec les caractéristiques suivantes :

- > un effectif restreint (généralement moins de 150 animaux par famille) ;
- > un mode d'élevage de type extensif recourant à un minimum d'intrants (pas d'achat de poussins notamment) ;
- > une production souvent mixte (les mêmes animaux produisent œufs et chair). La production d'œufs est cependant moins fréquente que celle de volailles de chair.

À ces trois caractéristiques peut s'ajouter une quatrième qui est l'utilisation quasi-exclusive des races locales. Certains paysans pratiquent cependant l'aviculture villageoise en utilisant des métisses issus de croisements entre les races locales et les races améliorées (Leghorn, Rhode Island etc.).

Dans les zones urbaines ou périurbaines se développe une aviculture proche de l'aviculture intensive des pays du Nord, malgré des effectifs plus réduits et une adaptation de certaines normes au contexte local. Il ne s'agit donc pas d'un *modèle intermédiaire* entre aviculture intensive et aviculture traditionnelle. Les besoins de ce type de production sont proches de ceux présentés dans le chapitre 721.

En aviculture villageoise, il s'agit de proposer des améliorations techniques qui permettent d'optimiser les résultats et d'éviter de calquer la logique de production développée dans la filière industrielle.

Les programmes d'amélioration de l'aviculture villageoise visent la formation des paysans, l'organisation des campagnes de vaccination contre les maladies majeures et la sensibilisation à l'utilisation des produits antiparasitaires.

● **L'importance et l'intérêt de la production villageoise**

La volaille traditionnelle occupe une place importante dans les activités et le patrimoine des paysans. Cette activité est essentielle dans les stratégies de lutte contre la pauvreté en milieu rural. Il est donc important de rappeler l'existence de techniques simples d'amélioration.

Plusieurs caractéristiques de l'aviculture traditionnelle justifient l'intérêt de mener des actions de développement dans ce secteur :

- > en milieu rural, la consommation de viande de poulet et d'œufs est importante, l'amélioration de ces productions constitue donc une voie d'amélioration de l'alimentation des populations rurales ;
- > ces types d'élevage sont présents dans quasiment toutes les familles rurales, il existe par conséquent un savoir-faire local et, si tous les producteurs modifiaient leurs pratiques d'élevage, les effets seraient importants ;
- > les animaux élevés dans les conditions locales sont rustiques et adaptés ;
- > les agriculteurs ont économiquement intérêt à disposer d'une production animale à cycle court, susceptible de dégager des revenus réguliers, même s'ils sont de faible montant.

Les contraintes de ce type d'élevage sont essentiellement pathologiques et liées aux techniques d'élevage. Il faut notamment souligner les importantes pertes en poussins, qui sont le fait de la prédation, du froid et de la pluie, en lien avec la divagation.

Les fortes mortalités rendent aléatoire l'effet des améliorations des techniques d'élevage et découragent les agriculteurs d'investir dans ce secteur. Les actions de développement doivent donc s'articuler autour de la levée de ces contraintes.

● **Les pathologies et la prophylaxie en aviculture traditionnelle**

Les contraintes pathologiques constituent le problème majeur en aviculture villageoise. Il s'agit principalement des maladies infectieuses et parasitaires. Les mortalités liées à ces maladies peuvent anéantir la totalité des élevages. L'amélioration de la productivité nécessite donc la mise en place d'un système de soins (vaccination, lutte contre les parasitoses) accessible à une majorité de paysans.

La maladie de Newcastle, très contagieuse et qui entraîne une forte mortalité, représente le premier obstacle à l'amélioration de l'élevage traditionnel. Selon les régions, viennent ensuite la variole, le choléra et la maladie de Gumboro, les coccidioses et les helminthoses. Les maladies parasitaires, particulièrement les helminthoses, occasionnent d'importants retards de croissance, notamment chez les animaux de moins de trois mois. Chez les adultes, elles sont à l'origine de baisses de performances : diminution de la ponte, de la prise de poids, etc.

● **Les difficultés de vaccination**

Le milieu villageois présente des contraintes qui rendent difficile la réalisation des vaccinations dans les cheptels aviaires traditionnels :

- > absence de chaîne de froid ;
- > caractère réduit et dispersé des effectifs ;
- > absence d'une main-d'œuvre qualifiée capable d'offrir un service vétérinaire à un coût compatible avec les moyens du paysan et éloignement des centres vétérinaires.

Les techniques de vaccination collective sont difficilement envisageables en élevage villageois. Seules les vaccinations par injection sous-cutanée ou intramusculaire sont utilisées. Elles présentent l'avantage d'être la seule forme d'administration des vaccins thermostables et de conférer, par un protocole vaccinal souple (une à deux injections), une immunité de plus longue durée. Elles nécessitent cependant un matériel adéquat et bien entretenu, et un minimum de savoir-faire technique. Elles présentent également des risques de traumatismes et d'introduction de germes pathogènes.

Le choix du vaccin est d'une grande importance. En pratique, il doit, autant que possible, posséder les caractéristiques suivantes :

- > avoir des propriétés de thermorésistance réelles (vaccins inactivés) ;
- > être présenté sous la forme d'un conditionnement qui corresponde à la taille des effectifs des élevages familiaux (cent, voire cinquante doses) ;
- > procurer une immunité intense et durable avec un minimum d'injections.

On préfère les vaccins inactivés avec un excipient de type huileux à administration locale et conditionnés en petites doses.

● L'opportunité du couplage vaccination-vermifugation

Combiner la vaccination (notamment la vaccination contre la maladie de Newcastle) avec l'administration d'un vermifuge assure une meilleure protection post-vaccinale des sujets. Il est préférable d'utiliser les vermifuges présentés sous forme de comprimés. Ils sont plus faciles à administrer que les vermifuges liquides ou en poudre ; le contrôle de la prise du médicament est ainsi plus sûr.

● L'amélioration du logement

Parfois, la volaille traditionnelle ne dispose pas de logement particulier. Les animaux passent la nuit sur les arbres, sous les greniers, dans la pièce qui sert de cuisine. Lorsqu'un local leur est consacré, il s'agit souvent d'une petite case attenante aux logements humains dont les dimensions ne sont propices ni au confort des animaux, ni au travail humain.

Les essais d'amélioration de l'aviculture villageoise ont consisté, entre autres, à l'amélioration du logement par la mise en place de poulaillers améliorés, dont le concept reste encore peu partagé. Ils représentent pourtant une voie efficace d'amélioration du système d'élevage.

En effet, ce type de poulailler :

- > protège les animaux contre les intempéries (vents, pluies, soleil) ;
- > évite l'entrée des agents pathogènes et des prédateurs ;
- > diminue les pertes de jeunes entre 0 et 3 mois ;
- > permet de contrôler les effectifs ;
- > facilite le travail humain et rend notamment possible le ramassage et le stockage du fumier.

La construction d'un poulailler amélioré pour l'élevage traditionnel doit répondre aux exigences minimales de densité, de sécurité pour les animaux (notamment pour les jeunes, contre le froid et les prédateurs) et d'aisance de travail pour le paysan afin d'en faciliter l'hygiène.

● Le choix de l'emplacement

Le poulailler est situé dans un endroit calme et sec, de préférence sous les arbres afin de limiter les effets de la chaleur. De même, il est orienté contre les vents dominants pour profiter d'une ventilation naturelle sauf dans les régions de vents forts.

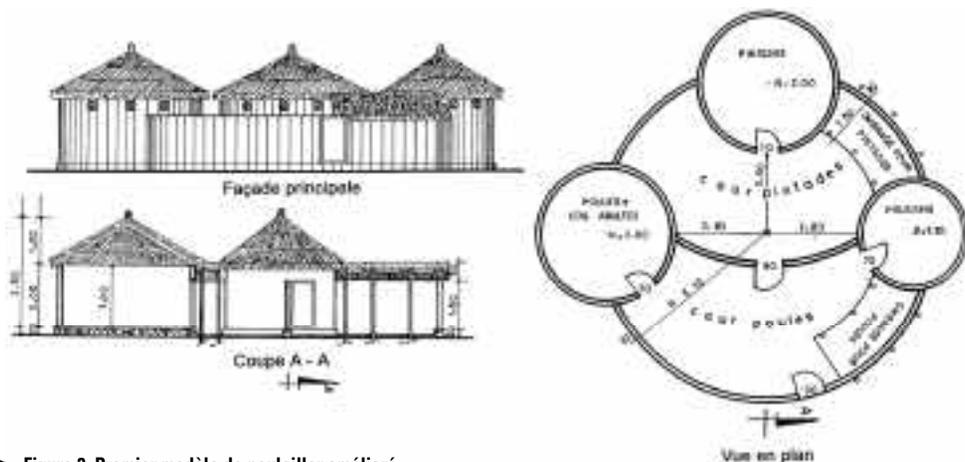
● Les bâtiments et matériaux de construction

Il faut séparer le logement des adultes de celui des jeunes (0-3 mois) pour lesquels il faut construire une poussinière jouxtant le poulailler principal. L'avantage de ce système est de protéger les jeunes des prédateurs et de la pression pathologique qu'ils subiraient dans un milieu adulte (voir figures 3 et 4).

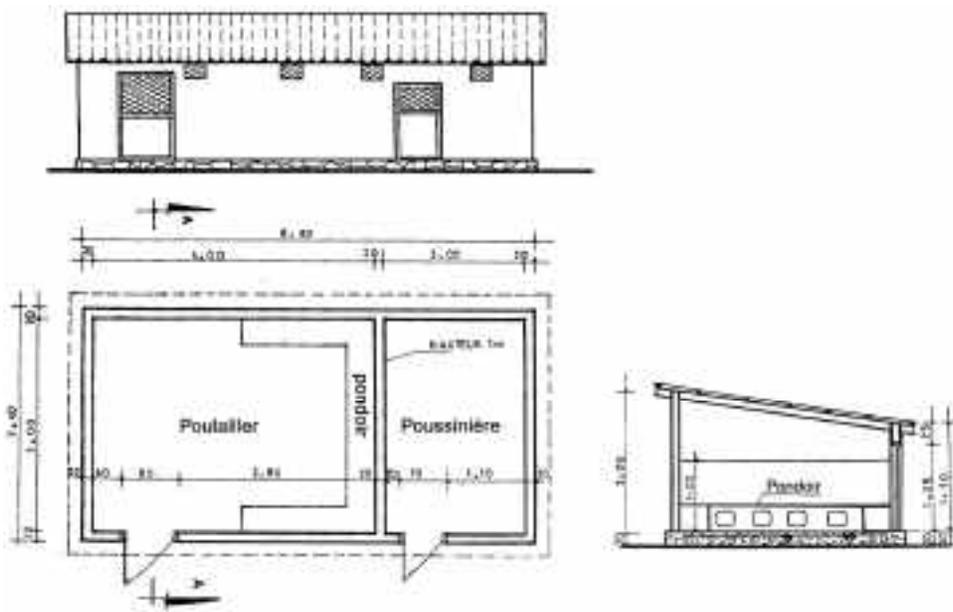
On peut optimiser l'utilisation des matériaux locaux pour construire des poulaillers améliorés. Les murs peuvent être élevés en terre battue et crépis à l'intérieur et à l'extérieur avec les techniques traditionnelles ou avec du ciment, notamment ceux qui sont exposés aux pluies.

Pour le toit, la paille est préférable à cause de son caractère isolant. Il faut la changer tous les trois à quatre ans. Dans les régions où ce matériau est rare, on peut exceptionnellement utiliser la tôle. Il faut alors impérativement construire le poulailler à l'ombre.

Enfin, il est nécessaire d'aménager une clôture en grillage ou en matériaux locaux (osiers, claustras en bois, murs pleins en terre battue) pour contenir les animaux afin d'éviter le vol, les prédateurs et la divagation des animaux.



► Figure 3. Premier modèle de poulailler amélioré



► Figure 4. Second modèle de poulailler amélioré

● L'aménagement du local

Le sol du poulailler est dur, damé et recouvert d'une litière à base de copeaux de bois non traité, d'écorces d'arachide, de paille hachée ou de balle de riz.

Les nids sont disposés de manière à être décalés par rapport à la porte d'entrée et contre le jour afin de procurer une bonne ambiance aux couveuses. Il faut prévoir un nid pour trois poules adultes. La forme et la disposition des pondoirs sont variables. Les dimensions à respecter sont d'environ 30 cm de haut et de long et de 40 cm de profondeur. Afin de faciliter l'isolement de la poule couveuse, l'ouverture du nid est d'environ 25 cm. Dans tous les cas, les nids sont tapissés d'une litière.

On veille à mettre en place un bac de poudrage aux dimensions d'un nid à l'extérieur du poulailler dans lequel sont placés de la cendre et un produit antiparasitaire. En saison de pluies, le bac de poudrage est à l'intérieur du poulailler.

Les mangeoires sont également fabriquées en matériaux locaux (bois ou matériaux de récupération), protégées par une barre supérieure afin d'éviter que les animaux ne marchent à l'intérieur.

Les abreuvoirs sont de type siphonide, ou de fabrication locale. Ils sont placés de préférence à l'extérieur du poulailler et à l'ombre. L'eau est changée quotidiennement et si possible deux fois par jour.

Les perchoirs, obligatoirement de section rectangulaire et en bois, sont placés à l'intérieur du poulailler. Il faut prévoir environ un mètre pour dix animaux et ils sont situés à cinquante centimètres du sol.

Tableau 22. Récapitulatif de quelques normes de poulaillers améliorés en aviculture villageoise

	Adultes	Poussins
Surface (pour 100 sujets)	10 m ² entre 5 et 8 semaines 15-20 m ² dès 9 semaines	5 m ² entre 0 et 4 semaines
Mangeoires (pour 100 sujets)	6 mangeoires de 15 cm de long	Possibilité d'utiliser des plateaux les deux premières semaines
Abreuvoirs (pour 100 sujets)	6 abreuvoirs de 5 litres	Entre 0 et 4 semaines: 2 abreuvoirs de 3 litres
Nids	1 nid pour 3 pondeuses	
Perchoirs	Longueur: 1 m pour 10 animaux Section rectangulaire 2 cm x 4 cm	

● La valorisation du fumier

L'aménagement d'un poulailler amélioré permet la récupération des fientes qui sont ensuite utilisées comme engrais par le paysan, ou bien vendues. Les fientes sont conservées dans des sacs de jute dans un endroit sec. Dans ces conditions, les pertes sont limitées : 10 à 20 % contre plus de 50 % à l'air libre et sous la pluie. Ainsi conservés, les éléments fertilisants subissent très peu de volatilisation, de lessivage et de réorganisation. Le fumier de volailles est environ cinq fois plus riche en azote que celui des petits ruminants ou des bovins.

Le compostage constitue une autre technique de valorisation du fumier, il consiste à provoquer une oxydation biologique des matières organiques. Le résultat est un fumier moins hydraté, stabilisé et inodore (le compost).

● **Le nettoyage et la désinfection du poulailler**

● **La désinfection**

Elle a pour objectif de diminuer la pression microbienne, virale et parasitaire liée à la présence des animaux et au milieu favorable de développement que représente la litière. En pratique, elle est réalisée après le retrait de la litière et en l'absence des animaux. Dans les conditions d'élevage traditionnel, le crésyl (facile à trouver et bon marché) semble le produit le plus indiqué car il est actif sur les virus, les bactéries et de nombreux parasites. Le produit dilué à 4 % est utilisé pour nettoyer les murs, le sol, les nids, les perchoirs, le matériel d'élevage (abreuvoirs, mangeoires) à une fréquence variable (cf. tableau 8). Pour le matériel d'élevage servant à l'alimentation, un rinçage à l'eau propre et un séchage au soleil sont préconisés après la désinfection.

● **La désinsectisation**

Elle consiste à diminuer la pression des insectes (notamment les poux, les puces) et des tiques, dont la présence dans les nids nuit fortement à une bonne couvaison, au confort et à la santé des animaux. Le bac de poudrage évoqué plus haut est une solution mais un traitement régulier du poulailler contre ces parasites à l'aide d'un insecticide et d'un acaricide est également conseillé.

● **L'alimentation**

La plupart des aliments destinés à l'élevage villageois sont produits par les paysans. Tout achat important et régulier d'aliments serait difficilement rentable sur le plan économique. Dans ces conditions, les quantités recommandées (cf. partie aviculture intensive) le sont pour mémoire et il faut envisager une valorisation optimale des ressources disponibles et les compléter éventuellement à moindre coût.

L'entretien et la production de chair et d'œufs chez les adultes, la croissance chez les poussins nécessitent en effet des rations si possible équilibrées et suffisamment énergétiques, comme dans le cas de l'aviculture industrielle. La présentation des aliments distribués peut toujours être améliorée par un broyage grossier.

D'une manière générale, l'aviculture traditionnelle est favorisée lorsque la région est excédentaire en céréales, en raison de la compétition homme - animal. Dans les régions où la production de céréales est insuffisante, les tubercules (manioc, patate douce) peuvent être utilisés en complément.

Dans tous les cas, il faut veiller à un apport en protéines. *Les termites* sont utilisés comme source de protéines dans certaines régions. Quelques espèces de termites seulement sont comestibles, en particulier les termites xylophages de la classe des ouvrières. Les termites humivores sont à éviter. La forme des termitières ainsi que la morphologie des termites permettent de les différencier.

La quantité de termites distribuée varie entre 50 et 100 grammes par jour, ce qui fournit à l'animal une dizaine à une vingtaine de grammes de protéines quotidiennes. Il faut éviter les rations à plus de 80 % de termites, même en période de démarrage des poussins.

Technique de capture des termites

Remplir un pot en terre cuite de bouse de vache ou de tiges de graminées finement hachées, puis arroser le contenu et retourner le pot aux abords d'une termitière dont on aura sondé une entrée. Protéger le pot retourné contre le soleil avec la paille. Les termites attirées par les éléments en décomposition se rendent dans le récipient retourné et le piège est vérifié une fois par jour. Il suffit ensuite de démouler le contenu contenant les termites et de les distribuer aux animaux.

D'autres sources de protéines, comme les larves de mouches ou encore les vers de terre, peuvent être utilisés.

Le rythme de distribution des aliments doit respecter la physiologie alimentaire des animaux, et parallèlement celui de la disponibilité de la main-d'œuvre familiale. Les aliments sont ainsi distribués tôt le matin dans les mangeoires, dès l'ouverture du poulailler. Une deuxième distribution est effectuée en fin d'après-midi, avant la tombée de la nuit, ce qui correspond à la rentrée des animaux au poulailler.

● La reproduction et la gestion des effectifs

Afin de s'assurer que les animaux sont élevés dans des conditions qui garantissent le maintien ou l'accroissement des effectifs, il est important d'observer un minimum de normes. Les coqs doivent être âgés de moins de trois ans. Au-delà de cette limite, les performances reproductrices sont compromises. Il faut observer un ratio de un coq pour dix poules reproductrices. De même, il faut réformer les poules de plus de trois ans. Il est nécessaire de se procurer des coqs en provenance d'autres élevages afin d'éviter les problèmes de consanguinité.

Tableau 23. Paramètres de reproduction des poulets en milieu villageois (région Kara, Nord-Togo)

Paramètre	Valeur
Effectif moyen	38
Nombre d'œufs moyen par couvée	17
Taux d'incubation	70 %
Taux d'éclosion	83 %
Taux de mortalité des poussins	20 %
Taux de mortalité des adultes	5 %
Durée moyenne de ponte (jours)	18
Période d'incubation (jours)	21
Nombre de couvées annuelles par poule	5
Nombre moyen d'œufs par an par poule	85

L'amélioration de l'aviculture villageoise permet d'effectuer des progrès perceptibles. Les plus importants portent sur :

- > *le taux de mortalité* (poussins et adultes), qui baisse considérablement grâce aux mesures prophylactiques et aux autres améliorations évoquées ci-dessus ;
- > *le nombre de couvées annuelles*, qui peut passer du simple au double en raison d'une séparation précoce (environ un mois) des poussins de leur mère ;
- > *le taux d'éclosion* qui s'améliore nettement grâce à un meilleur aménagement des lieux de ponte et à une sélection préalable des œufs mis à couver (par vérification de l'état physique, par immersion dans l'eau ou par mirage).

La gestion des effectifs dans ce type d'élevage est capitale. Elle permet d'optimiser l'utilisation des ressources humaines et alimentaires disponibles. Elle doit répondre au minimum à deux impératifs :

- > éviter de nombreuses naissances aux périodes critiques (pic des épizooties, période de froid, saison des pluies) afin de ne pas exposer trop d'animaux fragiles ;
- > garder un effectif en adéquation avec la capacité de travail de la famille.

Il est *a priori* intéressant de tirer profit des pics de demande (fêtes, cérémonies rituelles) en cherchant à produire à ces périodes là. Il faut cependant tenir compte du fait que ce type d'élevage a souvent une fonction de *porte-monnaie*, destiné à fournir régulièrement des sommes modérées. Dans ce cas, l'éleveur a plutôt un objectif de production étalée, même si la rentabilité est faible.

Tableau 24. Quelques propositions pour une bonne gestion des effectifs

Nombre de coqs par poules	1 coq pour 10 poules
Âge maximum des reproducteurs	3 ans
Séjour d'un reproducteur dans l'élevage	2 ans
Nombre d'œufs à couver par poule	Maximum 20 œufs par poule
Séparation des poussins de la mère	30 - 45 jours

La conduite d'élevage des poussins dans la poussinière permet de les séparer précocement de leur mère, dès la fin de la quatrième semaine, permettant ainsi aux reproductrices de recommencer plus vite à pondre.

Une attention particulière doit être portée pendant une dizaine de jours aux jeunes séparés de leur mère. Il faut habituer les poussins à divaguer dans la cour du poulailler, à la recherche de leur propre nourriture.

Il est conseillé de pratiquer l'adoption lorsque de nombreuses éclosions ont lieu au même moment. Le principe est de confier à une mère-poule les poussins des autres poules. L'objectif est double : avoir un minimum d'adultes dans la poussinière et permettre aux autres poules de rentrer plus tôt en ponte. Dans tous les cas, il faut une trentaine de poussins par mère au maximum.

Les variations d'effectifs, en dehors des mortalités liées aux pathologies, au vol et aux disparitions causées par les prédateurs, sont le résultat des achats de nouveaux sujets, des naissances, des dons et des prélèvements.

Les prélèvements effectués par les paysans répondent généralement à trois types de besoins : l'autoconsommation, les dons et la vente. L'importance relative de chacun des modes de prélèvement dépend de plusieurs facteurs locaux : importance des échanges commerciaux, facteurs sociaux, stratégie du paysan. Les dons sont souvent importants pendant les périodes de fêtes : fin d'année, cérémonies rituelles. Au centre et au nord du Togo, on a ainsi estimé qu'environ la moitié de la production est vendue, que le tiers (ou un peu plus) est consommé et que le reste (10 à 20 %) est donné.

Le tableau 25 récapitule les tâches à effectuer et leur fréquence pour conduire un élevage de volailles en suivant les recommandations fournies précédemment.

Tableau 25. Proposition de planification du travail

	Tous les jours	Toutes les semaines	Tous les mois	Tous les trimestres	Tous les semestres	Tous les ans
Sortir et donner à manger aux animaux						
Donner à boire	deux fois/jour					
Nettoyer abreuvoirs et mangeoires						
Observer et compter ses animaux						
Désinfecter les nids						
Désinfecter le poulailler						
Vérifier l'état du toit et des murs						
Vérifier l'état des abreuvoirs et mangeoires						
Changer la litière au sol						
Changer la litière des nids						
Reformer et remplacer les reproducteurs						
Vacciner les poussins d'un mois						
Vacciner contre la pseudo-pesté et la variole						
Administrer des vermifuges (Tous les mois chez les jeunes 0-3 mois)						
Charger le bac de poudrage						
Vérifier le ratio coqs/poules						

● **La question de l'amélioration génétique**

Dans de nombreux projets de développement de l'aviculture villageoise, des expériences d'amélioration génétique ont été tentées en introduisant des coqs et des poulets de race pour améliorer les performances de croissance et le format des races locales. La démarche d'amélioration génétique a souvent pris un caractère empirique, cette initiative se terminant souvent avec la fin du projet. Il est utile de rappeler quelques difficultés liées à ces initiatives :

- > les programmes d'amélioration génétique sont longs et coûteux. Ils nécessitent des compétences, d'importants moyens et des objectifs dont le terme et la disponibilité ne correspondent pas à ceux d'un projet de développement ;
- > l'empirisme qui caractérise l'exécution d'un volet *coqs de races* peut avoir un effet néfaste car il contribue à une dilution génique incontrôlée ;
- > pour être économiquement et techniquement envisageable, l'amélioration génétique doit s'accompagner d'une intensification de tout le système d'élevage des volailles, ce qui ne correspond pas nécessairement aux priorités des paysans.

● **La valorisation de la production**

La volaille traditionnelle est souvent le porte-monnaie du paysan. Dans ces conditions, la logique de valorisation de la production est particulière. Les ventes se font en fonction des besoins. Les conséquences de ce type de gestion sont nombreuses :

- > le circuit vif (vente d'animaux vivants) est quasiment exclusif ;
- > les lieux de vente sont nombreux (chez le paysan, sur le bord de la route, au marché) ;
- > les effectifs vendus sont faibles (de quelques sujets à une dizaine).

Il n'existe pratiquement pas de relations commerciales établies et durables entre le producteur et les nombreuses catégories d'acheteurs (petits revendeurs, grossistes, spéculateurs, consommateurs). Cependant, les améliorations apportées par quelques dispositifs d'appui à l'aviculture traditionnelle ont fait émerger une catégorie de paysans qui approvisionnent quelques revendeurs avec une certaine fidélité.

Comme ailleurs, *il est important d'estimer la part de la marge qui revient au producteur*. Différentes expériences ont montré que le paysan empoche la majeure partie de la marge réalisée, souvent plus de la moitié (60 à 65 % dans le Nord-Togo). Si cette proportion diminue, pour pérenniser les améliorations apportées, il est important d'envisager des formes d'organisation des paysans pour la commercialisation de leur production (cf. chapitre 221).

● **La carence des services d'appui à l'aviculture traditionnelle**

Si diagnostiquer les contraintes pathologiques majeures en élevage traditionnel de volailles est relativement aisé, la mise en œuvre des solutions au profit d'un maximum de paysans s'avère nettement plus difficile en raison des caractéristiques structurelles de ce type d'élevage et des moyens financiers limités dont disposent les paysans.

Dans de nombreux pays, l'absence de vétérinaires, d'ingénieurs, de techniciens d'élevage ou d'agronomes accessibles aux paysans, a abouti à la mise en place d'*auxiliaire villageois*.

Cette approche reste fortement critiquée mais il faut bien constater qu'aucune alternative n'a été proposée jusqu'à présent. Les principales limites de la formation d'auxiliaires sont liées au décalage qui existe entre l'offre qu'ils représentent (connaissances techniques très ciblées et donc limitées) et la demande qu'ils sont censés satisfaire en quantité et en qualité. Le contenu des programmes de formation des auxiliaires et le niveau scolaire requis dépendent des régions, des besoins et des ressources humaines disponibles.

Il n'est pas question de rentrer ici dans les débats qui accompagnent la mise en place de cette stratégie d'offre de services aux paysans. Les questions soulevées tournent régulièrement autour des compétences attribuées, des risques d'une dérive de ces compétences, du danger de limiter la formation aux *auxiliaires* et de léser ainsi les paysans. Il est important de garder à l'esprit que l'objectif est bien la formation des paysans et non celle des auxiliaires.

Enfin, le dernier point du débat est la question (essentielle) du financement des activités des services d'appui à l'élevage traditionnel : vaccinations, conseils techniques, etc. Après une longue période de prise en charge par le budget des Etats puis une période de privatisation des services d'appui à l'élevage, l'heure est au bilan et à la recherche de formules appropriées à la diversité des situations rencontrées.

L'ÉLEVAGE DES AUTRES ESPÈCES AVICOLES

● L'élevage des pintades

Originaires d'Afrique de l'Ouest, les pintades (*Numida meleagris*) sont élevées dans des conditions de semi-domesticité en milieu villageois. L'élevage des pintades en liberté est plus répandu dans les zones soudano-sahéliennes au climat sec. La pintade commune a une valeur marchande plus élevée que le poulet. L'éthologie sommaire de cet animal fait ressortir qu'il est extrêmement craintif. Il peut passer la nuit perché sur les arbres.

La domestication des animaux est essentielle en élevage villageois amélioré. Elle commence avec la conduite des jeunes pintadeaux en association avec l'élevage des poulets.

La période de ponte est courte, elle a généralement lieu pendant la saison des pluies. Au cours de cette période qui dure entre trois et six mois selon les régions, une femelle pintade pond entre 100 et 180 œufs. Les nids sont généralement en brousse, ce qui impose aux paysans de les repérer et de les protéger contre les prédateurs. Pour obtenir les poussins et les pintadeaux dans la même couvée, les œufs de pintade sont mis à couver sous une poule en couvaision. La durée de couvaision étant plus longue chez la pintade, il faut retirer progressivement les poussins éclos sous la poule couveuse ou alors ne mettre à couver sous la poule que des œufs déjà couvés par une pintade depuis une semaine.

En phase de démarrage, le pintadeau est fragile, notamment lorsqu'il fait froid durant la nuit. Il faut donc envisager l'adoption des jeunes pintadeaux et le cas échéant, ne pas hésiter à chauffer la poussinière à l'aide d'un pot en terre cuite contenant des braises et suspendu à 30 cm du sol. Le pot peut être remplacé par une lampe tempête.

La multiplication des points de chaleur, la quantité des braises contenues dans le pot ou alors le niveau d'éclairage de la lampe permettent de régler la température du local.

La ration alimentaire peut être identique à celle des poussins dans les conditions d'élevage villageois. Le pintadeau a cependant un rythme de croissance plus lent que le poussin.

Les pathologies majeures sont essentiellement parasitaires et virales. La pintade est moins sensible à la maladie de Newcastle mais constitue cependant un réservoir important de virus. Pour cela, il est conseillé de lui appliquer le même schéma vaccinal que le poulet.

Le pintadeau est particulièrement sensible aux parasitoses internes : trichomonose et syngamose essentiellement. L'administration régulière de vermifuges, principalement entre 0 et 90 jours, permet de réduire considérablement la mortalité des jeunes.

● **L'élevage des canards**

L'élevage des canards présente quelques particularités par rapport à celui du poulet : un régime alimentaire plus varié avec une aptitude à fourrager et un tropisme naturel vers les milieux aquatiques (étangs, rivières, et autres plans d'eau) où ils peuvent se procurer poissons, mollusques et autres parasites.

D'une manière générale, les canards sont moins exigeants que les poulets sur le plan alimentaire, notamment pour l'apport en protéines. Mais ils ont tendance à gaspiller considérablement les aliments distribués, surtout les jeunes.

Sur le plan pathologique, le canard est insensible à la maladie de Newcastle mais représente un réservoir important du virus.

● **L'élevage des oies**

L'élevage des oies est généralement décevant dans les conditions villageoises, en raison des difficultés de reproduction rencontrées. En plus d'une fertilité particulièrement liée à la longueur du jour (notamment le jars), les oies ne sont pas de bonnes couveuses, ce qui impose de faire incuber artificiellement les œufs (pendant un mois); il faut retourner soi-même les œufs deux fois par jour, même s'ils sont couvés par une poule.

Aux difficultés de la reproduction, il convient d'ajouter celles liées aux habitudes alimentaires des oies. Généralement, ces animaux se nourrissent la nuit, ce qui demande une conduite d'élevage particulière. Le régime alimentaire est semblable à celui des canards, avec cependant une consommation d'herbe plus importante.

● L'élevage de dindons

L'élevage du dindon (*Meleagris gallopavo*) ou dinde domestique est encore mal maîtrisé dans les conditions villageoises. On rencontre généralement trois races : *la Norfolk Black* dont le poids à l'âge adulte varie entre sept et huit kilos pour les mâles et environ cinq kilos pour les femelles, *la Mammouth Bronze* dont les mâles peuvent atteindre 25 kilos (20 kilos pour les femelles) et enfin le *dindon bronzé* sélectionné à partir de la race *Mammouth Bronze*. De nombreux produits de croisement ont été obtenus et diffusés à partir de ces trois races.

L'âge d'entrée en ponte est d'environ six mois et les animaux pondent en moyenne soixante à soixante-dix œufs par an. La ponte dure environ deux semaines. En pratique, il est conseillé de ne pas dépasser vingt dindonneaux par couvée en élevage traditionnel amélioré. La couvaison dure environ un mois.

Il faut compter environ dix dindonneaux par mètre carré jusqu'à l'âge de deux mois. Comme le pintadeau, le dindonneau est très fragile et les conditions d'élevage (froid, parasites internes et externes) sont à l'origine de fortes mortalités pendant les premiers mois. Le local est donc aménagé en conséquence (voir poulet).

La période d'élevage du dindon est très longue (en moyenne vingt-cinq semaines) et les exigences alimentaires découragent de nombreux paysans. L'alimentation doit être très riche en protéines pendant les quatre premières semaines. L'usage des termites est particulièrement indiqué dans ce type d'élevage. En raison de son poids élevé à l'âge adulte, le dindonneau est particulièrement sensible aux déficits en sels minéraux; Ca et P sont apportés grâce aux techniques décrites plus haut. Une attention particulière doit être portée aux animaux pendant les quinze premiers jours car à cet âge l'animal est particulièrement peu éveillé, à la différence des poussins (vue faible, mouvements lents).

Bibliographie

- ITAVI, AFSSA, CIRAD, 1999. *La production de poulets de chair en climat chaud*. Ed. ITAVI, 112 p.
- ITAVI, AFSSA, CIRAD, 2002. *La production d'œufs en climat chaud*. Ed. ITAVI, 120 p.
- INRA, 1991. *Nutrition et alimentation des volailles*. Ed. INRA, 340 p.
- VILLATE, D., 1997. *Maladies des volailles*. Ed. France agricole, 399 p.
- Guide d'élevage des souches avicoles*, HUBBARD - ISA, COBB, ROSS.

7 3

La pisciculture et les élevages non conventionnels

7.3.1

La pisciculture

7.3.2

Les élevages non conventionnels



La pisciculture

À partir de la contribution de L. Dabbadie (CIRAD),
J. Lazard (CIRAD) et M. Oswald (APDRAF)

L'aquaculture d'eau douce est sans conteste la plus ancienne activité de production de ressources aquatiques ; ses premières traces connues remontent à 2 500 ans. Le poisson en est le principal produit et l'étang de terre est à la fois le mode de production le plus ancien et le plus employé, puisque sa contribution à la production aquacole d'eau douce représente 80 à 85 % de la totalité.

L'aquaculture d'eau douce diffère des autres systèmes aquacoles par un certain nombre de caractéristiques. Elle permet, à différents niveaux, une forte intégration aux systèmes de production agricoles (agriculture et élevage) grâce à l'utilisation de l'eau, au recyclage des déchets comme fertilisants des étangs de pisciculture, ou à l'utilisation de sous-produits agricoles comme aliments pour le poisson. La production aquacole d'eau douce repose principalement sur des espèces à chaîne alimentaire courte (carpes, tilapias) et se distingue ainsi nettement de l'élevage d'espèces marines basé principalement sur des poissons carnivores (saumon, sériole). L'aquaculture d'eau douce est surtout mise en œuvre à travers des systèmes de production aquacoles extensifs et semi-intensifs dans lesquels la polyculture, la fertilisation et l'alimentation complémentaire constituent les points essentiels à maîtriser.

Ces dernières décennies, des innovations biotechniques majeures ont eu un impact important sur le développement de l'aquaculture d'eau douce : maîtrise de la reproduction artificielle de nombreuses espèces piscicoles, utilisation d'aliments complémentaires ou artificiels, amélioration génétique, introduction d'espèces exotiques dans de nombreux pays. Pourtant, malgré tous les travaux de recherche menés dans ce domaine, l'étang, en tant qu'environnement d'élevage, demeure une véritable boîte noire dans laquelle les poissons se nourrissent à différents niveaux du réseau trophique et où les espèces interagissent activement. Les progrès des pratiques d'élevage ont été obtenus davantage grâce à des processus d'essai-erreur qu'à travers une démarche scientifique planifiée.

LA PRODUCTION PISCICOLE DANS LE MONDE

En 1995, la production mondiale de poissons, crustacés, mollusques et végétaux aquatiques a atteint 120,7 millions de tonnes, au sein desquelles l'aquaculture a contribué à hauteur de 27,8 millions de tonnes. De 1989 à 1995, la contribution annuelle de l'aquaculture à la production aquatique totale est passée de 14,4 % à 23 %, et plus d'un quart de l'approvisionnement mondial en poisson de consommation a pour origine l'aquaculture. Les pays d'Asie sont les principaux producteurs, notamment la Chine, l'Inde et l'Indonésie, qui produisent respectivement 67 %, 6,7 % et 3,1 % de la production aquacole mondiale.

La production aquacole asiatique a augmenté entre 1984 et 1995 à un taux de croissance moyen annuel de 10,4 % ; elle représente aujourd'hui plus de 90 % de la production mondiale. L'essentiel de cette croissance est cependant dû à la Chine. En Afrique et en Amérique latine, la production aquacole est considérablement plus faible. Néanmoins, même avec une production totale moindre, le taux de croissance est élevé puisqu'il a atteint 12,7 % en Afrique et 12,8 % en Amérique latine durant la même période.

● **Une production dominée par les poissons d'eau douce**

Si on exclut les plantes aquatiques, les poissons et les mollusques d'eau douce dominent la production ; ils représentent, en 1995, environ 63 % du tonnage total des poissons et coquillages cultivés. Les élevages en eau saumâtre (principalement des crustacés) et marine (principalement des mollusques) ont contribué respectivement à 7 % et 30 %.

Parmi les 292 espèces listées par les statistiques de la FAO en 1995 et pour lesquelles des données sont disponibles, les vingt-deux premières espèces représentent 80 % de la production totale. Parmi ces vingt-deux espèces, pratiquement tous les animaux élevés sont des filtreurs, des herbivores, ou des omnivores. Une seule espèce, le saumon atlantique, est carnivore et il s'agit clairement d'une espèce mineure en terme de volume de production. Le groupe le plus important est celui des poissons d'eau douce : 12,7 millions de tonnes, en comparaison avec 1,4 million de tonnes pour les poissons amphihalins et 0,6 million de tonnes pour les poissons marins.

Les poissons d'eau douce sont dominés par les cyprinidés et les tilapias. Avec une contribution de 10,3 millions de tonnes en 1995, les cyprinidés présentent un certain nombre d'avantages comparatifs qui devraient leur permettre de maintenir leur prépondérance à court et moyen terme : ils peuvent utiliser des aliments au contenu en protéines et en farine de poisson limité ; ils peuvent être élevés en polyculture, permettant de valoriser de manière optimale la productivité naturelle des étangs et des plans d'eau dans lesquels ils sont stockés ; ils correspondent aussi à des marchés porteurs dans les pays asiatiques, en raison des traditions et des prix relativement bas.

● **Les carpes chinoises et indiennes**

Quelques espèces de carpes dominent l'élevage des cyprinidés : les carpes chinoises (carpe argentée, carpe herbivore, carpe marbrée, carassin, carpe noire et carpe de vase), la carpe commune, et les carpes indiennes majeures (rohu, catla et mrigal). En 1995, ces dix espèces représentaient 80 % de toutes les carpes élevées.

L'élevage des carpes chinoises est dominé par trois espèces : les carpes argentée, herbivore et marbrée (70 % de la production totale de carpes chinoises en 1995).

La carpe commune contribue pour 21 % et est géographiquement la plus répandue, étant élevée dans 86 pays. En 1995, les plus importants producteurs de carpe commune étaient, outre la Chine, l'Inde, l'Indonésie, la fédération de Russie et l'Ukraine.

Toute la production de carpes indiennes majeures est issue de l'aquaculture et de l'élevage des trois espèces principales. Elle a progressé à un taux annuel de 12 % entre 1984 et 1995. Pratiquement toute la production de carpes indiennes majeures provient d'Inde, mais ces dernières années une part croissante a été élevée en Birmanie, en Thaïlande et au Laos.

● Les tilapias d'aquaculture

Entre 1984 et 1995, la contribution des tilapias d'aquaculture à la production totale de tilapia est passée de 38 % (198 000 t) à 57 % (659 000 t). Quatre espèces ou groupes d'espèces de cichlidés (tilapia du Nil, tilapias non identifiés, tilapia du Mozambique et tilapia bleu) ont dominé la production entre 1984 et 1995, où ils ont contribué pour 99,5 % à la production de tous les cichlidés. Le tilapia du Nil a représenté 72 % de la production totale de tilapia ; le taux de croissance annuel de sa production entre 1984 et 1995 a été de 19 %. En 1995, les principaux producteurs de tilapia ont été la Chine (315 000 t), les Philippines (81 000 t), l'Indonésie (78 000 t) et la Thaïlande (76 000 t).

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PISCICULTURE

Les différents systèmes de production piscicole sont généralement caractérisés par leur degré d'intensification, lui-même défini selon les pratiques d'alimentation ; l'aliment exogène représente en effet en général plus de 50 % du coût total de production dans les systèmes intensifs. Cependant l'intensification concerne de nombreux autres facteurs de production, comme l'eau, le foncier, le capital et le travail.

Une première classification peut être établie de la manière suivante :

- > *les systèmes de production piscicole extensifs, basés sur la productivité naturelle de l'environnement ou de la structure d'élevage des poissons, sans ou avec très peu d'apports d'intrants.* Les systèmes d'intégration entre riziculture et pisciculture (rizipisciculture) appartiennent à cette catégorie extensive, puisque le poisson bénéficie des intrants apportés pour la culture du riz ;
- > *les systèmes de production piscicole semi-intensifs reposant sur l'utilisation d'une fertilisation ou sur l'emploi d'une alimentation complémentaire, sachant qu'une part importante de l'alimentation du poisson est fournie in situ par l'aliment naturel.* Les élevages associés du type volaille-poisson ou porc-poisson appartiennent typiquement à ce type de pisciculture, ainsi que tous les systèmes piscicoles recyclant différents types de déchets, notamment les systèmes de recyclage direct (étangs à latrines du Vietnam par exemple) ou indirect. Ces différents systèmes permettent d'obtenir des rendements piscicoles élevés ;
- > *les systèmes intensifs et superintensifs, dans lesquels tous les besoins nutritionnels des poissons sont satisfaits par l'apport exogène d'aliments complets, avec pas ou très peu d'apports nutritionnels issus de la productivité naturelle du bassin ou du plan d'eau dans lequel le poisson est élevé (lac, rivière).* L'aliment utilisé dans ces systèmes d'élevage est généralement riche en protéines (25 à 40 %) ; il est par conséquent coûteux. Les principales infrastructures d'élevage de ce type de pisciculture sont les enclos, les cages ou les *raceways*¹, avec des taux de renouvellement de l'eau très élevés.

Les différents types de systèmes de production piscicole sont présentés dans le tableau 1 selon leur degré d'intensification.

¹ Bassin de forme allongée et à fort renouvellement d'eau.

Tableau 1. Différents niveaux d'intensification des systèmes d'élevage piscicole

Densité de poissons à la mise en charge	< 1/m ²	1 à 5/m ²		5 à 10/m ²	10 à 100/m ²
Structure d'élevage	Etang	Etang	Etang	Etang/cage	Cage/raceway
Rendement (t/ha/an)	0 – 1	1 – 5	5 – 15	15 – 50	50 et plus jusqu'à 100 kg.m ⁻³
Intrants	Pas d'intrants	Macrophytes Fumure	Fumure et aliment simple	Aliment composé	Aliment composé
Taux journalier de renouvellement de l'eau (%)		< 5 compensation des pertes	5 à 10	10 à 30 aération Recirculation de l'eau	> 30 aération/oxygénation
Niveau d'intensification	Extensif	Semi-intensif	Semi-intensif	Intensif	Super intensif

Un exemple intéressant de système intermédiaire entre la pisciculture semi-intensive en étang et l'élevage superintensif de poisson est donné par l'élevage de tilapia en cage flottante dans les eaux productives de plans d'eau tels que les lacs volcaniques des Philippines. La densité d'empoisonnement en jeunes tilapias (*fingerlings*) est adaptée à la taille de la cage, à la productivité naturelle de l'eau et au mode de gestion. Aux faibles densités d'empoisonnement (jusqu'à 25 poissons/m²), l'alimentation complémentaire n'est pas forcément nécessaire, notamment dans les lacs productifs aux périodes où le plancton est abondant. Mais, pour accélérer la croissance du poisson pendant les mois peu productifs, une alimentation complémentaire peut être fournie, à raison de 3 à 5 % de la biomasse de poisson par jour.

Tableau 2. Densité d'empoisonnement du tilapia du Nil en cages de différentes tailles dans les lacs naturels des Philippines et modalités d'exploitation

Taille de la cage* (m ²)	Nombre de poisson/m ²	Nombre de poisson par cage	modalités d'exploitation
1 (1 x 1)	200	200	avec aliment
25 (5 x 5)	100	2 500	avec aliment
100 (10 x 10)	50	5 000	avec ou sans aliment
400 (20 x 20)	25	10 000	avec ou sans aliment

* Cage de 2 m de profondeur en moyenne.

Une autre typologie des systèmes de production piscicole peut être proposée, basée sur une différenciation entre :

- > les systèmes où l'aliment a pour origine essentielle (ou unique) l'écosystème (cas de l'écosystème étang), systèmes appelés *piscicultures de production*,
- > et les systèmes où l'aliment est entièrement exogène et où le poisson se nourrit entièrement grâce à des aliments artificiels, généralement sous forme de granulés et comportant une proportion parfois très élevée de farine de poisson², systèmes appelés *piscicultures de transformation*.

La gestion du premier type fait appel à la fertilisation ou à l'alimentation complémentaire, ainsi qu'à la mise en oeuvre de la polyculture.

2 Systèmes comparables aux systèmes d'élevage «hors-sol» des animaux terrestres.

Il existe une forte interaction entre la densité d'empoissonnement, le poids individuel final des poissons (taux de croissance) et le rendement qui doit être géré de manière attentive. En revanche, la gestion du second type repose essentiellement sur la monoculture, des densités d'empoissonnement élevées et une alimentation artificielle riche en protéines.

La décision de mettre en œuvre l'un de ces types de système piscicole dépend de nombreux facteurs qui sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques des deux principaux types de pisciculture vis-à-vis des différents facteurs de production.

Facteur de production	Pisciculture de transformation	Pisciculture de production
Foncier	+	-
Eau	débit	surface
Impact environnement	-	+
Capital/fonds de roulement	-	+
Force de travail (par kg de poisson produit)	+	+
« Aliment »	-	+
Technicité	-	-
Risque	-	+
Coût de production	-	+
Rendement	+	-
Plasticité (ex : production d'alevins)	-	+

Le signe - indique que le facteur de production constitue une contrainte pour la mise en œuvre du type de pisciculture concerné; le signe + un atout.

● Quel modèle piscicole transférer ?

Pendant longtemps il a été admis que la pratique de la *pisciculture de production* ne nécessitait qu'un faible niveau de technicité de la part des pisciculteurs en comparaison des systèmes basés sur une alimentation exogène. La réalité est loin d'être aussi simple. Le système s'est surtout développé dans des pays ayant une tradition piscicole ancienne et où le savoir-faire ancestral, bien qu'empirique, joue un rôle essentiel. Les nombreuses tentatives de transfert de ces modèles piscicoles vers des pays où il n'y avait pas de tradition piscicole ont échoué.

Les modèles aquacoles intensifs, basés sur des technologies plus évoluées, s'avèrent en fin de compte peut être plus faciles à transférer puisque leurs principales composantes³ sont bien définies et que l'élevage est conduit dans un environnement où les composantes naturelles non contrôlées interfèrent peu (élevage en cages en lacs et rivières) ou pas du tout (raceways, bacs). Le niveau de risque, en termes de maladies des poissons, est toutefois considérablement réduit dans les systèmes d'élevage extensifs par rapport aux systèmes intensifs. Les coûts de production et les rendements sont supérieurs dans les systèmes intensifs.

● Les étangs piscicoles

En termes de besoins fonciers, pour un niveau de production donné, les étangs nécessitent davantage de surface foncière (ou surface en eau) que les systèmes piscicoles plus intensifs qui, eux, nécessitent des taux de renouvellement en eau élevés.

³ Densité d'empoissonnement, taux de nourrissage, composition de l'aliment.

Les étangs de pisciculture ont en général un faible impact négatif sur l'environnement. Ils peuvent être utilisés pour recycler différents types de déchets comme les effluents (domestiques ou d'élevage), directement dans des milieux empoisonnés ou indirectement via des bassins de stabilisation et de maturation (lagunage où le poisson constitue le maillon ultime).

L'investissement en capital nécessaire à la construction des étangs peut être substitué par la capacité de travail du pisciculteur, ce qui n'est pas le cas pour les cages, enclos ou bacs qui requièrent du matériel devant être acheté, voire importé. L'approvisionnement en intrants des systèmes basés sur l'emploi d'un aliment de haute qualité nécessite un fonds de roulement élevé, ce qui n'est généralement pas le cas des systèmes semi-intensifs utilisant des intrants peu coûteux comme les sous-produits agricoles ou les déchets d'élevage ou agricoles.

Exprimée en hommes-jours par unité de poisson récoltée, la quantité de travail requise pour la gestion des systèmes d'élevage est supérieure avec les étangs (principalement pour la maintenance des infrastructures, le nettoyage, la fertilisation et la récolte) qu'avec les cages ou les autres systèmes de production intensive de poisson.

L'étang constitue une infrastructure d'élevage du poisson multi-usages, qui peut être utilisée pour le stockage de géniteurs et la maturation, pour la reproduction en utilisant diverses méthodes (naturelle, semi-naturelle et artificielle), l'élevage larvaire et le grossissement. De plus, la production d'alevins peut être réalisée dans des structures comme les hapas utilisés pour le tilapia, structures placées elles-mêmes au sein des étangs. Au contraire, les infrastructures de type intensif sont habituellement spécialisées dans la production de poissons de taille marchande.

LES PRINCIPALES ESPÈCES PISCICOLES

● **Les carpes**

Sept principales espèces de carpes sont élevées dans le monde et elles sont traditionnellement regroupées sur la base de leur répartition géographique :

- > les carpes dites chinoises incluent la carpe herbivore ou amour blanc *Ctenopharyngodon idella*, la carpe argentée, *Hypophthalmichthys molitrix* et la carpe marbrée ou à grosse tête, *Aristichthys nobilis* ;
- > les carpes majeures indiennes comprennent le catla, *Catla catla*, le rohu, *Labeo rohita* et le mrigal, *Cirrhinus mrigala* ;
- > la septième espèce est la carpe commune, *Cyprinus carpio*.

Sur le plan taxonomique, les carpes appartiennent à la famille des Cyprinidés (ordre des Cypriniformes).

● **Les carpes majeures chinoises**

● **La carpe herbivore**

La carpe herbivore peuple naturellement les rivières avec plaines d'inondation de Chine ainsi que les sections moyennes et inférieures du fleuve Amour en Russie. Elle a été introduite dans plus de cinquante pays du monde depuis le début du XX^e siècle.

Le principal objectif, outre son élevage, était très souvent le contrôle biologique de la prolifération des végétaux aquatiques dans les cours d'eau naturels, les lacs, les retenues et les canaux d'irrigation. La carpe herbivore possède en effet des dents pharyngiennes dont la structure permet de râper la végétation aquatique. Les adultes sont capables de mastiquer les feuilles de plantes terrestres comme les graminées. Le rapport entre la longueur de l'intestin et la longueur standard varie entre 1,6 et 2,7 chez les adultes (0,5 pour les larves). La digestion des fibres par les carpes herbivores est incomplète ; environ la moitié de la biomasse alimentaire ingérée est rejetée sous formes de fèces qui sont censées permettre directement ou indirectement le développement d'une biomasse importante d'autres espèces de poissons.

L'alimentation naturelle des alevins est constituée en priorité de protozoaires, rotifères et nauplii, puis de cladocères, copépodes et d'algues benthiques lorsque la larve atteint 20-25 mm de long. Ensuite, le régime alimentaire naturel s'oriente vers le phytoplancton et, pour les poissons de plus de 30 mm, les macrophytes. Les végétaux consommés varient selon les régions du monde, mais il s'agit généralement de : *Wolffia*, *Lemna*, *Spirodela*, *Hydrilla*, *Najas*, *Ceratophyllum*, *Potamogeton*, *Vallisneria* et *Myriophyllum*. En élevage, la carpe herbivore est souvent alimentée avec des produits comme les céréales, les tourteaux, les pupes de ver à soie ou les déchets de cuisine.

En milieu naturel, la carpe herbivore atteint un poids compris entre 200 et 650 g à la fin de la première année ; après quatre ans, elle peut peser 4 à 5 kg. Dans le Yangtze, des poissons dont le poids dépassait 20 kg ont été capturés. En élevage, la croissance est le résultat de nombreux facteurs : densité d'empoissonnement, qualité de l'alimentation, compétition avec d'autres espèces en cas de polyculture etc. La croissance journalière moyenne varie entre 2,8 et 9,8 g/j selon les conditions d'élevage et l'environnement climatique.

L'âge auquel elle atteint sa maturité varie fortement selon le climat et surtout selon la température : de un à deux ans en Asie tropicale, jusqu'à huit à dix ans dans des pays froids (Russie). Sa fécondité relative est comprise entre 80 000 et 120 000 œufs par kg de poids de la femelle (tableau 4).

Tableau 4. Fécondité relative (nombre d'ovules par kg de poids vif de femelle) des principales carpes d'élevage

Espèce de carpe	Nombre d'ovules par kg de poids vif de femelle
Carpe herbivore	80 000 – 120 000
Carpe argentée	160 000 – 195 000
Carpe marbrée	70 000 – 130 000
Carpe commune	90 000 – 300 000
Catla	100 000 – 250 000
Cohu	100 000 – 400 000
Mrigal	90 000 – 420 000

Dans son environnement d'origine, cette carpe se reproduit durant les mois de mousson, en rivière, mais elle ne semble pas pondre spontanément en eau stagnante d'étang ou en bacs. Dans ces conditions, une ponte induite doit être provoquée.

● **La carpe argentée**

La carpe argentée occupe naturellement les bassins des rivières Yangtze, West River, Kwangsi et Kwangtung en Chine centrale et du Sud, et le bassin de l'Amour en Russie. L'espèce a été introduite dans de nombreux pays à des fins d'aquaculture.

Son régime alimentaire repose principalement sur le zooplancton, les rotifères et les nauplii de copépodes aux jeunes stades, puis s'étend aux copépodes, cladocères et au phytoplancton lorsque le poisson grossit. Les alevins de grande taille et les adultes se nourrissent principalement de phytoplancton (*Flagellata*, *Dinoflagellata*, *Myxophyceae*...). Cette espèce possède des adaptations anatomiques et morphologiques corrélées à son régime alimentaire essentiellement phytoplantivore. L'intestin est quinze fois plus long que le corps. Les branchies de la carpe argentée possèdent un réseau complexe de branchiospines abondants et serrés, permettant au poisson de filtrer des cellules algales de petite taille (jusqu'à 30 μm de diamètre).

En élevage, la carpe argentée peut atteindre 1,8 kg au bout de deux ans, 4,6 kg après trois ans ; généralement la croissance commence à décroître à partir de la quatrième année. Le taux de croissance moyen est de 6,3 $\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ durant les trois premières années d'élevage.

Comme pour la carpe herbivore, l'âge de première maturité de la carpe argentée dépend essentiellement de la température. Par exemple, en Chine du Nord, la maturité sexuelle est atteinte après cinq ou six ans (poids : 2-5 kg) alors qu'en Chine du Sud, la maturité est obtenue après seulement deux ou trois ans (même poids individuel).

La fécondité relative moyenne de la carpe argentée est légèrement supérieure à celle de la carpe herbivore. Le poisson se reproduit dans le milieu naturel entre avril et juillet dans les eaux courantes de son habitat d'origine, les rivières de Chine, mais elle ne se reproduit pas spontanément en étangs ou en bacs où la reproduction induite est nécessaire.

● **La carpe marbrée**

L'habitat d'origine de cette carpe est le même que celui de la carpe argentée ; elle a également été introduite dans de nombreux pays. Les larves de carpe marbrée se nourrissent de différents organismes planctoniques unicellulaires, de nauplii et de rotifères. Les alevins de grande taille et les adultes se nourrissent principalement de plancton animal ; leur tube digestif est bien plus court que celui de la carpe argentée. Les habitudes alimentaires de la carpe marbrée sont très proches de celles des carpes majeures indiennes. Aussi la compétition pour l'alimentation entre ces deux groupes est-elle très forte lorsqu'ils sont élevés en polyculture dans le même étang.

Dans des conditions d'élevage favorables, les taux de croissance des fingerlings peuvent atteindre 6,3 g/j et celui des adultes 14,7 g/j alors que le poids individuel de la carpe marbrée atteint dans ces conditions 3,2 kg après deux ans d'élevage et 10,7 kg après trois ans.

L'âge de première maturité de la carpe marbrée est de trois ou quatre ans en Chine du Sud (poids : 5-10 kg) et de six ou sept ans en Chine du Nord (même poids). Le poisson pond durant la mousson dans son habitat d'origine mais il ne se reproduit pas spontanément en captivité.

● Les carpes majeures indiennes

● *Le catla*

Le catla est originaire des sections d'eau douce des rivières du nord de l'Inde, du Pakistan, du Bangladesh et de Birmanie. L'espèce a été introduite dans les rivières de la péninsule indienne et, plus récemment, dans différents pays de l'est et du sud-est asiatique.

Au stade juvénile, le catla se nourrit principalement de zooplancton (crustacés) et lorsqu'il est adulte de zooplancton (deux tiers) et d'algues (un tiers). Ses proies alimentaires sont principalement d'origine pélagique (produites en pleine eau) mais une partie provient aussi du fond.

Le catla est la carpe majeure indienne qui grossit le plus vite. Lorsque les conditions d'élevage sont favorables, il peut atteindre un poids de 3,2 à 4,1 kg après un an, 10,9 kg après deux ans et 18 kg après trois ans.

Le catla atteint sa maturité sexuelle en étangs pendant sa deuxième année de vie, à un poids moyen d'environ 3 kg. La fécondité relative se situe entre 100 000 et 250 000 œufs/kg de poids vif de la femelle, lorsque le stock de géniteurs a plus de trois ans.

La saison de reproduction du catla survient entre mai et août en Inde du Nord et du nord-est, au Bangladesh et au Pakistan. Dans les rivières du sud de l'Inde, elle est plus fluctuante (mai-octobre) et peut survenir deux fois par an.

● *Le rohu*

La distribution naturelle du rohu est identique à celle du catla. Cette espèce a également été introduite sur tous les continents. Son alimentation repose sur la matière végétale, y compris la végétation en décomposition. Il se nourrit aussi bien dans la colonne d'eau que sur le fond, bien qu'il soit moins adapté à la filtration du zooplancton que les autres carpes indiennes. Jusqu'à 100-200 mm de long, les alevins et juvéniles de rohu se nourrissent d'algues unicellulaires ou filamenteuses et de végétation en décomposition, la part relative de ces dernières augmentant chez les poissons plus grands. En conditions d'élevage, le rohu montre un potentiel de croissance inférieur à celui du catla mais qui reste très élevé. Les meilleures performances enregistrées sont de 1 kg après un an et 2,6 à 5,4 kg au bout de la deuxième année d'élevage.

En étang, le rohu atteint sa première maturation sexuelle à la fin de la deuxième année, mais il a été observé en Inde que cette maturité peut aussi être atteinte en une année seulement (trois ou quatre ans au Bangladesh). Le poids moyen à la première maturité se situe autour de 0,5 kg (longueur : 350 mm). La fécondité relative du rohu indiquée dans la littérature varie entre 100 000 et 400 000 œufs par kg de poids vif des femelles. Sa saison de reproduction coïncide avec la mousson, de juin à septembre dans la plupart des régions du sous-continent indien.

● *Le mrigal*

L'habitat naturel du mrigal est le même que celui du rohu et du catla, et il a également été introduit dans les eaux de la péninsule indienne et des autres pays d'Asie tropicale à des fins d'aquaculture.

Le mrigal se nourrit de détritus, avec un spectre alimentaire relativement large. Il s'alimente sur le fond, principalement de végétation en décomposition mais il peut occasionnellement consommer des organismes pélagiques. Les jeunes poissons se nourrissent en priorité de plancton et, de façon secondaire, de matière organique semi-décomposée. Des quantités importantes de sable et de vase sont aussi observées dans les intestins de mrigal, elles peuvent représenter jusqu'à 35 % du contenu intestinal.

En conditions d'élevage, le mrigal peut atteindre un poids de 1,8 kg après un an de croissance, 2,6 kg après deux ans et 4,0 kg après trois ans. Il semble le plus souvent atteindre sa première maturité à deux ans en étangs (les mâles peuvent atteindre leur première maturité à la fin de la première année). La fécondité relative du mrigal est comprise entre 100 000 et 400 000 œufs/kg de poids vif des femelles. La saison de reproduction du mrigal correspond à la mousson du sud-ouest en Inde, au Bangladesh et au Pakistan (entre avril et septembre) et sa durée varie d'une région à l'autre du sous-continent.

● La carpe commune

La carpe commune comprend quatre sous espèces et de nombreuses variétés et souches. Parmi ce grand nombre de races, les plus fréquentes sont : la *Big Belly* des fleuves Kwantung et Kwangsi de Chine, la carpe orange indonésienne (*Cyprinus carpio* var. *Flavipinnis* C.V.) et la carpe miroir (*Cyprinus carpio* var. *Specularis*), avec ses variétés Aischgrunder (Allemagne) et Royale (France).

Les postlarves de carpe commune commencent à s'alimenter à partir de petit zooplancton (*Moina*, rotifères, *Cyclops*, nauplii). Les ostracodes et les insectes, y compris les larves de chironome, s'ajoutent à ce régime lorsque les alevins atteignent 20 à 100 mm de long.

Les carpes communes dépassant 10 cm de long se nourrissent de matière végétale en décomposition contenant des organismes benthiques, principalement des tubificidés, des mollusques, des chironomidés, éphéméridés et trichoptères. La carpe commune creuse et fouille les digues et le fond des étangs, à la recherche de matière organique. Pour cela, le poisson prélève la boue qu'il tamise afin de retenir la matière digestible et rejette le reste. Cette habitude alimentaire aboutit souvent à une détérioration des digues de l'étang et à une augmentation de la turbidité de l'eau.

Le taux de croissance de la carpe commune, fonction de ses conditions d'élevage, est d'environ 2 g/j en moyenne.

L'âge de la première maturité varie entre un an (voire six mois) dans les pays d'Asie tropicale (Inde, Indonésie, Thaïlande, Malaisie) et en Israël, et trois ou quatre ans en Europe. Le poids moyen à maturité varie respectivement entre quelques centaines de gramme et 1,5 à 2,5 kg. La saison de reproduction peut durer toute l'année (pays tropicaux) ou seulement pendant une période définie (mai-juin en Europe, mars-août en Israël, mars-juin dans le sud des États-Unis), dépendant principalement de la température de l'eau avant et pendant la période de reproduction. La carpe commune se reproduit naturellement dans son habitat naturel ainsi qu'en étangs et bacs. Les œufs sont adhésifs et le poisson a besoin d'un substrat pour pondre et fixer ses œufs. La fécondité relative de la carpe commune varie entre 90 000 et 300 000 œufs par kilogramme de poids vif de femelle.

● Les tilapias

Les tilapias appartiennent à la sous-famille des Tilapiinés, un groupe de poissons exclusivement africain, et à la famille des Cichlidés. Antérieurement considérés comme membres d'un seul genre, *Tilapia*, trois genres principaux sont aujourd'hui reconnus depuis la dernière révision taxonomique (1983). Outre des caractéristiques anatomiques, le critère pour la distinction des genres est basé sur la biologie reproductive : *Oreochromis* (incubation buccale maternelle), *Sarotherodon* (incubation buccale paternelle ou bi-parentale) et *Tilapia* (pondeurs sur substrat). Une centaine d'espèces piscicoles sont désignées par le nom commun tilapia, mais trois espèces seulement sont utilisées aujourd'hui de façon significative en aquaculture : *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* et *O. aureus*.

Pratiquement tous les tilapias de grande taille appartiennent au genre *Oreochromis* ; au sein de cet ensemble, le tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, représente l'espèce la plus importante non seulement pour son taux de croissance élevé ou son adaptabilité à une grande diversité de conditions d'élevage, mais aussi en raison de la demande élevée des consommateurs pour ce poisson. Ces quarante dernières années, il a été introduit dans plus d'une centaine de pays. Il est devenu le pilier de la pisciculture du tilapia à travers de nombreux systèmes de production, à tous les niveaux d'intensification, depuis la production de subsistance jusqu'aux piscicultures les plus intensives.

Tous ces transferts, à l'intérieur et à l'extérieur de l'Afrique, ainsi que l'hybridation largement utilisée en aquaculture, ont conduit à une certaine confusion sur l'origine et la pureté de certaines souches commerciales de tilapia. Il est donc important de connaître la constitution génétique exacte des souches employées à des fins commerciales. De nombreuses techniques biochimiques et biomoléculaires ont été développées pour cette caractérisation génétique.

● *Un comportement reproducteur spécifique*

Les problèmes associés à l'élevage du tilapia ont souvent pour origine le mode de reproduction inhabituel des espèces du genre *Oreochromis*. En plus d'être un incubateur buccal, il atteint sa maturité sexuelle très précocement (vers six mois et à un poids qui peut être inférieur à 40 g). Ce détournement de l'énergie de la croissance vers la reproduction devient une réelle contrainte en conditions d'élevage. Une fois matures, les femelles de tilapia se reproduisent à fréquence élevée, l'incubation buccale de chaque lot étant suivie d'une courte période de récupération avant qu'une nouvelle ponte n'intervienne. Chaque cycle reproductif dure 1 à 1,5 mois. En moyenne, *O. niloticus* produit de quelques centaines à 3 000 œufs par femelle, et peut se reproduire jusqu'à dix fois par an.

En aquaculture, ce comportement reproducteur génère deux problèmes principaux :

- > les pontes d'*Oreochromis* ne sont pas synchronisées entre les femelles, si bien qu'une population de géniteurs produit continuellement des alevins, en relativement faibles quantités, ce qui induit un problème réel de gestion au niveau des écloséries de tilapia. À cela s'ajoute le cannibalisme exercé sur les jeunes par les alevins plus âgés, qui constitue une autre cause majeure de la réduction de la quantité d'alevins produite dans les étangs de reproduction ;
- > la reproduction précoce et continue des tilapias conduit rapidement à une surpopulation et au nanisme en structures d'élevage fermées (étangs, bacs, etc).

● Le contrôle de la reproduction

Le principal enjeu de la gestion du stock de géniteurs de tilapia est de développer des systèmes de conditionnement des géniteurs et de reproduction, ainsi qu'un prélèvement régulier des alevins des milieux de reproduction, afin d'accroître la production d'alevins par unité de surface.

Tableau 5. Données biotechniques sur la production d'alevins de *Oreochromis niloticus* en étangs selon différentes méthodes en Asie et en Afrique

Infrastructure	Etang	Etang	Etang	Etang	Etang	Hapa	Hapa
Superficie (m ²)	4 500	350	200	200	100	1 à quelques m ²	1,65 x 1,65 x 1,20
Densité de géniteurs (ind.m ⁻²)	0,16	0,7	4	0,6	0,6	1 à 10	1,5
Poids moyen des géniteurs (g)	62-356	100 (femelles) 240 (mâles)	80-100	100-150	100-150	60 - 80	100-150
Sex-ratio (femelles : mâles)	3 : 1	3 : 1	3 : 1	3 : 1	3 : 1	1 : 1	3 : 1
Durée d'élevage (jours)	250	120	45-60	75	62	30	62
Première récolte d'alevins (jours après mise en charge)	60	35	14	11 à 13	11 à 13	10 - 12	dès apparition des alevins
Intervalle entre deux récoltes (jours)	30 *	15*	6 fois/jour à partir de 7 h à 2 h d'intervalle**	4 à 6 fois par jour aux heures les plus chaudes**	4 à 6 fois par jour** aux heures les plus chaudes	1	cycles successifs
Alimentation/fertilisation	fertilisation organique +minérale	50 % SR + 50 % TA	fertilisation organique + SR (75 %) + FP (25 %)	son de riz (1,5 % de la biomasse)*	son de riz (1,5 % de la biomasse)#	75 % SR + 25 % FP	aucune
Nombre d'alevins produits (ind./m ² /mois ¹)	8,0	45,4	200 – 250	350	375	300 - 600	475
Poids moyen des alevins produits	4,3 g	0,7 g	quelques mg à 0,1 g	10 (±1) mm	10 (±1) mm	quelques mg	7,6 (±1,5) mm
Pays	Philippines	Niger, Côte d'Ivoire	Philippines	Niger	Niger	Philippines	Niger

SR : son de riz.

TA : tourteau d'arachide.

FP : farine de poisson.

* pêche à la senne.

** pêche à l'épuisette à mailles fines.

les géniteurs sont nourris, avant mise en place dans les structures de reproduction, avec un aliment composé de TA (50 %) +SR (50 %) ou SR (80 %) + FP (20 %) à raison de 1,5% de la biomasse.

Pour résoudre les problèmes de surpopulation du tilapia en étang, différentes méthodes de contrôle de la reproduction ont été développées dans les systèmes d'élevage de tilapia : polyculture avec un poisson prédateur qui élimine les alevins par prédation ou élevage de poissons monosexes mâles (les mâles possèdent une meilleure croissance que les femelles). Les méthodes utilisées pour la production de populations monosexes mâles incluent le sexage manuel, l'hybridation et l'inversion sexuelle par traitement hormonal.

Cette dernière est désormais considérée comme la technique la plus efficace pour la production de lots entièrement mâles sur un plan commercial mais elle n'est pas sans poser problème : niveau de technicité nécessaire pour obtenir des populations 100 % mâles, impact sur l'environnement aquatique de l'utilisation à grande échelle d'hormones stéroïdes synthétiques artificielles.

En termes de régime alimentaire, les tilapias du genre *Oreochromis*, et particulièrement *Oreochromis niloticus*, sont généralement considérés comme des poissons phytoplanctonophages, capables d'ingérer et de digérer de grandes quantités d'algues phytoplanctoniques et de cyanobactéries. Selon différents auteurs les tilapias seraient même le seul véritable poisson herbivore, en raison de leur structure intestinale : longueur égale à quatorze fois la longueur totale du poisson ; pH stomacal très acide, de l'ordre de 1,5, permettant la destruction des parois cellulaires végétales. En élevage dans des étangs fertilisés, *Oreochromis niloticus* se nourrit de rotifères, copépodes, cladocères, larves de chironome, diatomées, algues vertes, cyanobactéries, matière organique végétale en décomposition, nanoplancton mais il intègre également vase, argile et sable.

Il semble par conséquent avoir un régime alimentaire relativement opportuniste, plus omnivore-détritivore que strictement microphytophage. La fraction détritique de l'aliment ingéré par *Oreochromis niloticus* semble être particulièrement importante et a été sous-estimée pendant longtemps. Le poisson est capable d'adapter sa morphologie et son comportement alimentaire pour digérer la composante détritique de l'aliment : sélection de la fraction organique de l'aliment et hydrolyse grâce à de nombreuses petites dents pharyngiennes, digestion grâce au pH très acide de l'estomac et enfin faculté d'assimiler les acides aminés sur l'intégralité de l'intestin.

● **Les stratégies alimentaires**

Les jeunes *Oreochromis niloticus* se nourrissent principalement de microzooplancton et de crustacés alors que les poissons de plus grande taille ont un spectre alimentaire plus large.

Oreochromis se nourrit sur la colonne d'eau, sur le fond et sur des substrats en suivant trois voies principales d'ingestion : succion par création d'un flux d'eau dirigés vers sa bouche, filtration à travers ses branchiospines et broutage sur des substrats et sur le fond des étangs. Des études récentes ont montré que le broutage semble être la stratégie alimentaire la plus avantageuse pour les tilapias *Oreochromis* sur le plan énergétique.

Les habitudes alimentaires des principales espèces piscicoles d'eau douce ainsi que des espèces présentant un intérêt potentiel pour l'aquaculture tropicale sont données dans le tableau 6.

Tableau 6. Niches trophiques et spatiales des principales espèces piscicoles d'eau douce utilisées en pisciculture.

Nom scientifique	Nom commun anglais	Niche trophique		Particules macroscopiques			Niche spatiale		
		Filtreur		Macrophyte	Détritus benthos	Prédation	Surface	Fond	Colonne
		Phyto-plancton	Zoo-plancton						
Cyprinidae									
<i>Ctenopharyngodon idell</i>	Grass carp			□□					■
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Silver carp	□□	□				■		
<i>Aristichthys nobilis</i>	Big Head carp	□	□□				■		
<i>Cyprinus carpio</i>	Common carp		□		□□			■	
<i>Labeo rohita</i>	Rohu	□□	□				■		
<i>Catla catla</i>	Catla	□	□□				■		
<i>Cirrhinus mrigala</i>	Mrigal				□□		■		
Cichlidae									
<i>Oreochromis niloticus</i>	Nile tilapia	□□			□				■
Serassalmidae									
<i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui		□	□□					■
Osteoglossidae									
<i>Heterotis niloticus</i>	Heterotis		□□	□	□				■
Clariidae									
<i>Clarias gariepinus</i>	Catfish				□□	□		■	
Cichlidae									
<i>Hemichromis fasciatus</i>						□□			
Channidae									
<i>Channa striata</i>	Snakehead					□□			

□□ : niche trophique principale ou unique de l'espèce.

□ : niche trophique accessoire de l'espèce.

■ : niche spatiale occupée par l'espèce.

LA GESTION DES ÉLEVAGES PISCICOLES

● La reproduction

La pratique de la pisciculture nécessite un approvisionnement en alevins programmé et en grand nombre. Quand le nombre d'alevins capturés dans le milieu naturel s'avère insuffisant pour empoissonner les étangs ou cages, les pisciculteurs doivent obtenir des reproductions en captivité des poissons adultes qu'ils possèdent. Bien qu'il soit possible de contrôler la production d'alevins en ayant recours à la reproduction naturelle grâce à des méthodes de gestion de l'environnement, les pontes stimulées par traitement hormonal restent les plus efficaces. Avec une telle méthode, plus la physiologie de la reproduction de l'espèce est connue, meilleures sont les chances de succès.

● La stimulation hormonale

Les systèmes nerveux et endocrinien des poissons agissent de concert pour coordonner la reproduction.

La stimulation neuronale est à l'origine de la chaîne d'événements, et les liens ultérieurs sont hormonaux. La réception de stimuli de l'environnement, comme la longueur du jour (photopériode), la température et les précipitations ou crues, relève du système nerveux. Elle comporte le passage de l'information des récepteurs sensoriels au cerveau. Cette information, au moment où elle atteint l'hypothalamus, détermine l'activité hypophysaire par le biais de messagers chimiques connus sous le nom de libérines ou *releasing hormone* et ils sont identiques ou très peu différents chez la plupart des poissons. Ils initient la libération d'hormones gonadotropes par l'hypophyse. Ces dernières influencent la production d'hormones sexuelles stéroïdiennes au niveau de la gonade.

Les hormones stéroïdiennes sont responsables de la maturation des gamètes et, si les stimuli environnementaux et sociaux sont présents, l'ovulation (ou la spermiation⁴) et la ponte surviennent. La libération des gonadotropines est inhibée par certains mécanismes, notamment hormonaux. La dopamine est la principale substance inhibitrice de la gonadotropine chez les poissons.

● **Estimer la maturité des reproducteurs**

Le pisciculteur désireux d'induire la reproduction au moyen d'hormones doit avant toute chose estimer la maturité des reproducteurs, puisque le succès de l'opération repose sur l'exactitude des informations sur l'état de maturation de la gonade. La maturité des poissons peut être estimée à partir de l'apparence externe⁵, ou en utilisant des méthodes plus complexes ou nécessitant du temps, basées sur des biopsies gonadales et des analyses d'ovocytes (diamètre de l'ovocyte et distribution des tailles, morphologie des ovocytes et position du noyau dans la cellule).

● **Minimiser le stress**

Les manipulations de poissons doivent être réalisées de manière à minimiser le stress : utilisation d'anesthésiques, stockage d'un faible nombre de géniteurs, humidification des mains et de tous les ustensiles de manipulation des poissons, couverture des yeux des poissons, réduction du bruit, etc. L'hormone induisant la ponte est généralement administrée par voie intramusculaire ou intrapéritonéale, mais il existe également des techniques d'induction par voie orale ou par implant. Cette dernière permet une libération lente de l'hormone, sur plusieurs semaines ou plusieurs mois.

● **Le choix de l'hormone**

Le choix de l'hormone dépend de nombreux facteurs, notamment de l'espèce à reproduire, de son coût et de sa disponibilité, de la formation technique et des installations disponibles pour l'incubation des œufs et l'élevage larvaire. Les pisciculteurs utilisent en général soit une gonadotropine, soit un analogue de GnRH, avec ou sans antagoniste de la dopamine.

L'hypophysation, injection d'extraits hypophysaires bruts prélevés sur d'autres poissons, est utilisée depuis les années 1930. Elle présente des avantages, notamment économiques, et des inconvénients car les extraits sont impurs et contiennent des hormones accessoires qui peuvent stimuler certains poissons et en inhiber d'autres.

4 Spermiation : émission de gamètes mâles.

5 Abdomen gonflé et mou, et papille génitale enflée chez les femelles, libération de laitance après massage de l'abdomen chez les mâles.

Mais, les pisciculteurs ayant le plus d'expérience reconnaissent fréquemment que si des hypophyses *de bonne qualité* sont disponibles, l'hypophysation constitue une excellente méthode pour induire la ponte. Une technique d'hypophysation typique pour les poissons d'eau douce consiste en deux injections chez les femelles : une faible dose stimule la migration de la vésicule germinative ; elle est suivie douze heures plus tard par une dose plus importante qui permet la rupture de la vésicule germinative, l'ovulation et la ponte. Les mâles reçoivent en général une seule dose induisant la stimulation de la production de liquide séminal et assurant une spermiation optimale simultanée avec l'ovulation.

Des gonadotropines partiellement purifiées de poisson sont aussi disponibles, mais leur coût élevé limite leur utilisation. La gonadotropine chorionique humaine (hCG) peut aussi être utilisée mais la molécule est tellement différente de la gonadotropine de poisson que de fortes doses doivent être employées pour la plupart des espèces et, malgré cela, un certain nombre ne répond pas au traitement. En outre, cette hormone peut induire une réponse immunitaire préjudiciable chez différentes espèces de poissons.

De nombreuses hormones libérines sont disponibles ; elles présentent trois grands avantages. Elles agissent en amont dans la chaîne hormonale en induisant le poisson à produire sa propre gonadotropine, éliminant ainsi tous les problèmes causés par l'emploi de gonadotropine d'autres espèces. De plus, les molécules de GnRH sont peu spécifiques à une espèce. Ensuite, elles sont faciles et simples à conditionner, ce sont des molécules stables dont l'activité biologique ne varie pas d'un lot à l'autre et, comme elles sont actives à très faible concentration, leur utilisation est économique. Les analogues de GnRH peuvent être utilisés seuls ou simultanément avec un antagoniste de la dopamine (pimozide ou dompéridone). L'injection de GnRH combinée à un antagoniste de dopamine porte le nom de méthode Linpe, en hommage à Lin et Peter, les chercheurs qui l'ont conçue.

Les doses employées varient fortement mais la tendance consiste en une injection unique de 5 à 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Des doses d'analogues de GnRH de 1 à 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ont aussi montré leur efficacité. La dompéridone est généralement efficace à des doses comprises entre 1 et 5 mg/kg. Le tableau 7 présente une comparaison de la méthode de Linpe avec une hypophysation classique pour la reproduction induite de carpes indiennes.

Tableau 7 Comparaison des performances de reproduction de carpes indiennes femelles après administration de préparations d'hypophyses de carpe (HC) et d'Ovaprim (10 mg dompéridone et 20 μg sGnRH/ml) (Billard, 1995)

Traitement	<i>Catla catla</i>		<i>Labeo rohita</i>	
	Ovaprim®	HC	Ovaprim®	HC
Température (°C)	25-31	25-31	27-30	27-30
Dose (par kg)	0,4 - 0,6 ml	20 - 24 mg	0,25 - 0,35 ml	18 mg
Nombre de femelles	74	68	68	67
% ovulation totale*	93	78	100	90
% non réponse*	0	12	0	0
% fécondation	83	77	95	83
% éclosion	95	92	95	90

* La différence entre ces deux colonnes correspond à des ovulations incomplètes.

● Le mélange du sperme et des oeufs

Le sperme et les ovocytes des poissons ayant reçu un traitement hormonal sont généralement collectés par massage en comprimant doucement l'abdomen, puis ils sont mélangés. Le mélange artificiel des œufs et spermatozoïdes peut aboutir à un taux de fécondation très élevé, supérieur à 90 %, mais les techniques varient d'un poisson à l'autre. La méthode sèche est la plus employée.

Afin d'optimiser la très courte période de motilité du sperme, le mélange des œufs et du sperme est opéré avant une quelconque addition d'eau. Juste après le mélange, les gamètes sont humidifiés minutieusement avec un peu d'eau du milieu de reproduction ou d'une solution de dilution. Quelques minutes plus tard, les œufs fécondés sont lavés avec de plus grands volumes d'eau, avant d'être transférés vers les incubateurs, généralement des bouteilles de Zoug.

● La reproduction naturelle en captivité

Les pisciculteurs ont généralement des échéances et des objectifs de production à respecter. Il est difficile de les persuader d'accorder plus d'attention à la reproduction naturelle lorsqu'une reproduction induite par hormone est possible, même si son efficacité est partielle. Pourtant, les meilleurs exemples de reproduction naturelle proviennent du monde de l'aquariologie tropicale où les succès sont légion, et où la plupart des espèces sont reproduites en utilisant des voies naturelles. Dans le cas de l'arowana, ostéoglossidé asiatique (*Scleropages formosus*), la demande en juvéniles est forte mais ils ne peuvent plus être obtenus de façon légale à partir du milieu naturel, si bien que leur prix est désormais très élevé.

Dans ce contexte, la stratégie qui s'est révélée efficace pour le reproduire en captivité a simplement consisté à lui procurer un environnement calme, une eau de dureté correcte et une alimentation de haute qualité. En fait, la reproduction induite par la manipulation des facteurs environnementaux peut être appliquée à de nombreuses autres espèces : carpes (par stimulation thermique ou en plaçant les poissons dans des étangs enherbés ou avec substrats artificiels), ostéoglossidés (en plaçant les géniteurs dans des étangs enherbés ou par simulation de la crue), etc. Le développement de nouvelles méthodes de gestion permettant un meilleur contrôle de la reproduction naturelle pourrait s'avérer un outil d'avenir particulièrement efficace.

● L'alimentation des espèces d'élevage

Le succès d'une activité piscicole repose essentiellement sur la qualité de l'alimentation. Dans de nombreux modèles techniques, en particulier dans les raceways et les cages où il y a peu, voire pas du tout d'aliment naturel, le pisciculteur doit apporter une ration alimentaire complète. Il s'agit en général d'aliments riches en protéines et en vitamines, et donc très coûteux. Le coût de l'alimentation dans les systèmes d'élevage intensifs représente jusqu'à la moitié des coûts totaux. Des pratiques alimentaires appropriées jouent un rôle majeur, non seulement pour l'optimisation économique mais également pour la *bonne santé* du stock d'élevage et donc les performances de croissance.

● Les besoins en protéines et acides aminés

Les poissons ont des besoins en protéines supérieurs à ceux des mammifères ou des oiseaux. L'aliment doit contenir 40 à 45 % (poids sec) de protéines pour les salmonidés, 32 à 36 % pour le poisson chat américain, 30 à 35 % pour les carpes, 44 % pour l'anguille, 25 à 30 % pour les tilapias. Elles sont généralement apportées par des farines de poisson coûteuses.

Les poissons ont besoin de davantage de protéines que les autres groupes animaux, mais leurs besoins en acides aminés essentiels sont comparables à ceux des vertébrés supérieurs, si l'on exclut l'arginine qui peut être synthétisée par le cycle de l'urée.

Mais le mythe du poisson ayant de fortes exigences en protéines doit être relativisé. En effets, même pour une espèce à longue chaîne alimentaire telle que le saumon, le pourcentage de protéines fixées à partir de l'aliment peut atteindre 30%, alors qu'il est de 29 % pour le poulet et 22 % pour le porc.

Les tilapias sont réputés plus phytophages que les poissons-chats ou les carpes. Pour cette raison, plusieurs tentatives de substitution de la farine de poisson par des protéines d'origine végétale ont été réalisées pour essayer de réduire les coûts de l'aliment. Le remplacement de la farine de poisson par des proportions croissantes de farine d'algues a montré que la croissance diminue à partir de 5 % d'incorporation d'algues, en raison des déséquilibres en acides aminés et minéraux. Pourtant, en conditions d'élevage réelles en Israël, une ration dans laquelle la moitié de la farine de poisson avait été remplacée par du soja n'a pas eu d'effet négatif sur la croissance, sans qu'une quelconque supplémentation en acides aminés n'ait été réalisée.

● Les besoins en lipides

La nutrition lipidique est un des secteurs les mieux étudiés en nutrition des animaux aquatiques. Les principales étapes du métabolisme des lipides sont connues. En dépit de grandes similitudes, elles diffèrent de celles des vertébrés supérieurs à différents points de vue. En particulier l'environnement aquatique est caractérisé par la présence de grandes quantités d'acides gras polyinsaturés, en particulier ceux à longue chaîne (> 20 atomes de carbone). Ceux de la série (n-3) sont ceux pour lesquels les poissons ont les plus grands besoins, en comparaison avec les vertébrés supérieurs. Dans le cas de la truite, les acides gras polyinsaturés (n-3) doivent représenter au moins 10 % des lipides alimentaires, et au moins 14 % dans le cas de la carpe. De plus, les lipides peuvent fournir un complément d'énergie.

Comme la majorité des poissons digère mal les hydrates de carbone complexes mais catabolisent les protéines pour satisfaire leurs besoins en énergie, la capacité d'utiliser les lipides permet d'économiser des protéines et de réduire le coût de l'alimentation. Ainsi la croissance de la truite peut être améliorée sans accroître le contenu en protéines de l'aliment, mais en augmentant la quantité de lipides.

Pour cette raison, les lipides sont aujourd'hui de plus en plus employés dans la formulation d'aliments à haute efficacité. La ration alimentaire doit contenir des lipides en quantité significative, variable suivant l'espèce considérée. Les salmonidés ont besoin de 18 à 20 % de lipides dans leur ration, alors que les cyprinidés en réclament 7 à 18 %. Quant aux besoins des tilapias, ils sont inférieurs à 10 %. Pour la plupart des poissons, la digestibilité des lipides est très élevée, de l'ordre de 90 %.

● Les besoins en glucides

Les glucides ou hydrates de carbone forment la troisième composante majeure de l'alimentation des poissons. Ils constituent une source d'énergie peu coûteuse. D'une façon générale, les poissons n'ont pas une capacité d'utilisation des glucides aussi développée que les vertébrés supérieurs, bien que les poissons omnivores ou herbivores tels que les poissons-chats, les carpes ou les tilapias les utilisent mieux que les salmonidés. Dans le cas de ces derniers, un excès de glucides peut même entraîner une forte mortalité. Les glucides contribuent pour 30 % à l'alimentation des salmonidés et pour 50 % à celle des cyprinidés.

La digestibilité des glucides à petite molécule (glucose, saccharose) est bien supérieure (proche de 100 %) à celle de l'amidon (70-80 % en général, mais parfois < 50 %), mais ce dernier est le seul glucide qui puisse être incorporé de manière économique à l'aliment. En fait, sa digestibilité augmente avec la température ; elle est en général supérieure pour les espèces tropicales que pour les poissons tempérés. De plus, il est possible de l'améliorer par cuisson. Ainsi, les quantités d'amidon incorporées dans les aliments pour poissons dépassent des limites qui ne semblaient pas pouvoir être dépassées il y a vingt ans. La part retenue de l'énergie ingérée est de 27 % pour le saumon, contre respectivement 12 et 16 % pour le poulet et le porc.

● Les besoins en vitamines

Les besoins en vitamines et minéraux des poissons et des vertébrés sont proches. La vitamine A₂, une autre forme du rétinol, est spécifique aux poissons, mais elle est aussi efficace que la vitamine A ; la choline et l'inositol sont nécessaires ; en revanche, le calciférol et la vitamine K jouent un rôle limité. Au contraire, les vitamines E et C ont une importance supérieure chez les poissons par rapport aux vertébrés supérieurs.

● Le calcul d'une ration et la distribution

Grâce à ces connaissances, il est possible de définir des formules alimentaires comme celles présentées dans le tableau 8. Le calcul d'une ration se heurte cependant à trois difficultés :

- > l'ingestion effective de l'aliment distribué ;
- > la pollution de l'environnement par l'aliment non consommé ou non digéré ;
- > la variation temporelle des besoins nutritionnels des poissons qui rend indispensable un ajustement permanent des rations distribuées.

L'alimentation *ad libitum* est difficile à estimer et risque de générer des pertes. Elle peut aussi se trouver confrontée à des problèmes de densité énergétique. Ainsi, avec des composés peu riches en énergie, l'alimentation risque d'être limitée par le volume de l'estomac et, dans certains cas, d'être insuffisante pour permettre de bonnes performances de croissance. Au contraire, avec un aliment très énergétique, la ration ingérée peut excéder les besoins du poisson. Le surplus est alors stocké sous forme de graisse, responsable de pertes au moment de l'éviscération.

Tableau 8. Aliments pour poissons d'eau douce en élevage intensif (g/kg) (Guillaume *et al.*, 1999)

	Truite	Carpes	Poisson-chat	Tilapias	Anguilles
Farine de poisson	300	250	80	150	650
Farine de viande		40			
Lactosérum	100				
Tourteau de soja	130	60	482	200	
Gluten de maïs	170	50			
Germes de blé	165	410	100		
Maïs			312		
Blé				200	
Sorgho				450	
Son de riz		55			
Amidon gélatine/extrudé					210
Huile de poisson	115		15		50
Huile végétale		50			20
Suif		50			
Mélange vitaminique	10	5	0.5		20
Mélange minéral	10	5	0.5	20	
Phosphate bicalcique	25	10			
Liants					30
Protéines (g/kg MS)	380	310	320	290	360-400
Lipides (g/kg MS)	150	125	40	80	120-150
Energie digestible (MJ/kg MS)	17,2	16,4	13,0	14,5	18,0

Le rationnement des animaux doit par conséquent prendre en considération des paramètres liés au poisson, à l'aliment et à l'environnement. Il est défini en utilisant un coefficient de conversion de l'aliment⁶ et le taux de croissance.

La distribution peut être effectuée de manière manuelle, automatique ou à la demande. La distribution manuelle est de loin la méthode la plus flexible et la plus employée ; en effet, elle permet d'ajuster la quantité d'aliment distribuée au comportement du poisson. Elle est cependant coûteuse en travail et contraignante, même lorsque le nourrissage est réalisé une seule fois par jour.

L'alimentation automatique permet de fractionner la distribution, voire de réaliser une distribution continue, rendant ainsi possible des améliorations du coefficient de conversion de l'aliment. Enfin, avec la distribution à la demande, le poisson préleve la quantité d'aliment désirée, en utilisant un dispositif mécanique (tige tactile). L'inconvénient de ce dispositif est qu'il encourage la compétition entre les poissons et favorise ainsi les disparités de croissance. De façon objective, l'idéal consiste à combiner les différents modes d'alimentation, afin de bénéficier des avantages de chacun.

● La gestion de l'étang de pisciculture

● Les aliments naturels et artificiels

L'étang de pisciculture constitue un environnement écologique où coexistent et interagissent de nombreux organismes bactériens, animaux et végétaux.

⁶ FCR, *Food Conversion Ratio*, rapport entre la quantité d'aliment distribuée et le gain de poids des poissons.

Leur impact sur la production piscicole est majeur, non seulement en raison de leur valeur alimentaire mais également à cause des modifications qu'ils induisent sur la qualité de l'eau (oxygénation, pH). La contribution des aliments naturels au rendement piscicole est essentielle, même dans des systèmes basés sur l'utilisation d'aliments artificiels.

Le tableau 9 montre les contributions respectives pour la croissance des poissons d'aliments granulés et d'aliments naturels, obtenues en employant des méthodes basées sur le traçage isotopique utilisant deux isotopes stables du carbone ^{12}C et ^{13}C . Le tableau 9 montre clairement que, dans un tel étang, l'essentiel de la croissance provient des aliments naturels (> 50 % pour les carpes et > 60 % pour les tilapias).

Tableau 9. Évaluation des proportions des différentes sources alimentaires ayant contribué à la croissance de poissons élevés en étangs à faibles densités (cf. tableau 10) nourris avec un aliment composé équilibré (25 % protéines; 3 à 4 % de la biomasse par jour) selon la méthode du traçage isotopique (C) (D'après Schroeder, 1983)

Espèce	Pourcentage de la croissance imputable à :	
	<i>consommation directe de l'aliment</i>	<i>consommation d'aliments naturels (benthos, phytoplancton, périphyton)</i>
Carpe commune	< 50 %	> 50 %
Tilapia hybride	< 40% (< 20 % sans doute)	> 60 % (probablement > 80 %)
Carpe argentée	0	100 %

● La régulation écologique des étangs

La production piscicole est conduite au cours de cycles à l'issue desquels les étangs sont entièrement vidangés et généralement mis à sec. À la différence des milieux aquatiques pérennes, la colonisation écologique des étangs ne peut pas être ignorée, car elle a des conséquences majeures sur les caractéristiques ultérieures de l'écosystème. Durant cette période, qui dure de quelques jours à quelques semaines, de nombreux changements quantitatifs et qualitatifs contribuent à structurer l'environnement aquatique.

Les processus de régulation sont essentiellement des facteurs endogènes, en relation avec les capacités de prolifération des organismes. Le ratio C/N peut contribuer fortement à la structuration de l'écosystème. Un milieu riche en carbone et pauvre en azote favorise le comportement organotrophe des bactéries, aux dépens de la minéralisation. En conséquence, il permet le développement de microzooplancton bactériophage : protozoaires, formes nauplii de copépodes, rotifères, etc. Au contraire, un milieu riche en azote paraît favorable au comportement minéralisateur des bactéries et peut stimuler le macrozooplancton, par l'intermédiaire du phytoplancton. Dans tous les cas, ces étapes très instables précèdent un état d'équilibre relatif.

Les dynamiques écologiques des écosystèmes aquatiques en équilibre sont abondamment décrites en limnologie : théories du type des interactions trophiques en cascade. Malgré cela, il n'existe pas de modèle utilisable en étangs. Ces environnements sont trop complexes et variables pour pouvoir être correctement représentés par des chaînes alimentaires simplifiées. Il existe cependant quelques données de base de portée générale.

● La voie autotrophe

Tous les transferts d'énergie ayant pour origine la production primaire peuvent être appelés *voie autotrophe*. Les microalgues planctoniques se développent suite à l'activité photosynthétique. Elles sont ensuite consommées par les poissons phytoplanctonophages (tels que le tilapia) ou filtrées par le zooplancton qui est lui-même consommé par les poissons. En réalité, la voie autotrophe est beaucoup plus complexe, car les transferts d'énergie ne sont absolument pas linéaires.

Les étangs de tilapia du Nil

Dans ces étangs, la composition en phytoplancton a une grande importance. La filtration biologique des algues de petite taille n'est pas forcément intéressante sur le plan énergétique pour le tilapia, qui se nourrit alors sur le fond des étangs lorsque les organismes benthiques dominent la flore aquatique. La valeur alimentaire des aliments du fond des étangs (benthos) peut être très bonne et la croissance du poisson est alors satisfaisante. Au contraire, lorsque des algues de grande taille dominent (principalement les cyanobactéries), la filtration peut s'avérer énergétiquement plus intéressante pour le poisson, mais la composition chimique de ces algues n'est pas toujours conforme aux besoins du tilapia. De plus, lorsque ces algues apparaissent, la qualité de l'eau est fréquemment mauvaise, et la concentration en oxygène souvent faible. La croissance du tilapia peut alors en être affectée.

● La voie hétérotrophe

D'autres relations existent, qui n'ont pas pour origine la production primaire. Il s'agit de la *voie hétérotrophe*, identifiée en utilisant des méthodes basées sur la mesure du rapport $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ dans la chair du poisson et dans ses aliments potentiels. De nombreux travaux ont confirmé sa contribution significative au rendement piscicole. La matière organique fournit une source de carbone pour les organismes hétérotrophes qui profitent ensuite au rendement piscicole. Le tableau 10 présente les contributions respectives des voies autotrophe et hétérotrophe à la croissance de poissons et crevettes d'eau douce en étangs de terre recevant une abondante fertilisation organique.

Si la croissance de la carpe argentée, espèce phytoplanctonophage, repose exclusivement sur la voie autotrophe, ce n'est pas le cas des espèces omnivores comme le tilapia et la carpe commune, dont la moitié de la croissance repose sur la voie hétérotrophe. Il se peut pourtant qu'elle passe totalement inaperçue lorsque toutes les conditions sont réunies pour que la voie autotrophe exprime pleinement son potentiel : ensoleillement, environnement riche en carbonates et minéraux. De plus, de nombreuses algues autotrophes peuvent avoir une nutrition hétérotrophe et la majorité des organismes planctoniques ont une alimentation très diversifiée. Les mécanismes biologiques qui contribuent aux voies autotrophes et hétérotrophes sont donc étroitement enchevêtrés et encore peu connus.

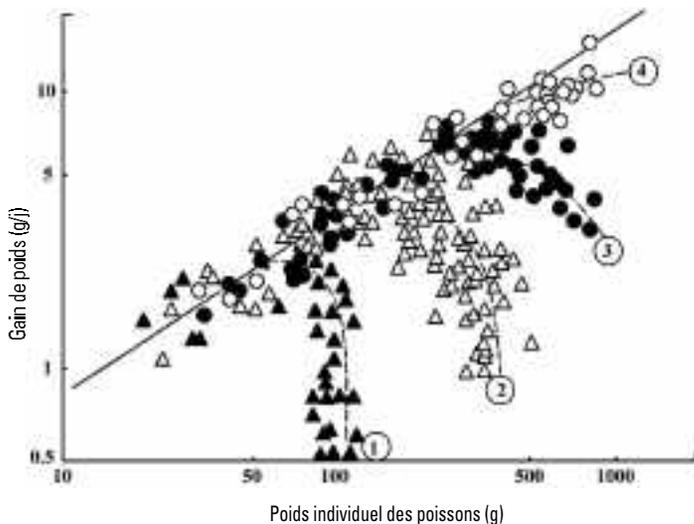
Tableau 10. Contributions relatives des voies autotrophe et hétérotrophe à la croissance de poissons (3 000 *Cyprinus carpio*/ha, 1 000 carpes argentées/ha, 450 carpes herbivores/ha et 7000 tilapias/ha) et de crevettes d'eau douce (5 000-15 000 *Macrobrachium rosenbergii*/ha) en étangs de terre recevant une abondante fertilisation organique: 50-200 kg/ha/jour (D'après Schroeder, 1983).

	Densité (par m ²)	Origine de la croissance en %	
		Voie hétérotrophe	Voie autotrophe
Carpe commune	0,3	50 – 65	50 – 35
Tilapia	0,7	20 – 40	80 – 60
Carpe herbivore	0,045	0	100
Carpe argentée	0,1		100
Crevette	0,5 à 1,5	30 - 50	50 – 70

● La fertilisation des étangs

Dans ce contexte de connaissances partielles, le principal objectif des pisciculteurs est d'orienter la circulation de l'énergie vers les voies trophiques qui profitent en premier lieu aux poissons. La fertilisation des étangs est le premier outil à la disposition des éleveurs. En effet, en stimulant la production primaire, il est possible de stimuler la production des autres niveaux trophiques et par conséquent d'influer positivement sur le rendement piscicole. Ceci peut être fait en utilisant des engrais chimiques, qui fournissent les minéraux requis pour la production de matière organique par la photosynthèse. Mais lorsque les minéraux sont présents en quantité suffisante, la densité du phytoplancton augmente à des niveaux tels que la lumière ou le carbone dissous deviennent rapidement des facteurs limitants. Une manière de dépasser cette limitation consiste à stimuler la production d'organismes hétérotrophes en utilisant des engrais organiques.

La figure 1 montre les relations entre le taux de croissance (en g/j) et le poids moyen de carpes communes, déterminées par des échantillonnages bi-hebdomadaires dans des étangs recevant quatre traitements différents. La comparaison entre la courbe 1 (ni fertilisation ni alimentation) et la courbe 2 (fertilisation mais pas de nourrissage) montre l'impact de la fertilisation : elle permet de prolonger la croissance du poisson vers des poids individuels supérieurs. En effet, lorsque le poisson grossit, la prédation exercée sur les aliments naturels augmente et, tôt ou tard, la quantité d'organismes naturels est insuffisante pour satisfaire les besoins nutritionnels des poissons. La croissance individuelle ne stoppe pas immédiatement, mais son taux d'accroissement diminue rapidement. En étang fertilisé, l'évolution de la croissance est identique, néanmoins, comme les aliments naturels sont plus abondants, le niveau critique survient à un poids individuel supérieur.



► Figure 1. Relation entre le taux de croissance (g/j) et le poids moyen de carpes communes, déterminée par des échantillonnages bi-hebdomadaires pour quatre traitements : (1) ni fertilisation ni nourrissage (triangles noirs) ; (2) fertilisation sans nourrissage (triangles vides) ; (3) alimentation à base de sorgho (cercle noir) ; (4) alimentation riche en protéines (cercles vides). Chaque point est une valeur moyenne déterminée à partir de quatre étangs répliqués (d'après Hepher, 1988, redessiné)

● La fertilisation minérale

Les engrais minéraux utilisés en aquaculture sont classés en deux catégories : engrais azotés et engrais phosphorés. En aquaculture, les fertilisants riches en potasse ne sont pas pris en compte, car leur impact fertilisant semble généralement inexistant. Différents fertilisants azotés sont disponibles sur le marché : urée, nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, nitrate de sodium, cyanamide de calcium. Ceux contenant de l'urée ou de l'ammoniaque ont un effet acidifiant sur le milieu, effet qui peut être neutralisé par l'emploi de chaux. L'impact des engrais est meilleur lorsqu'ils sont distribués fréquemment à faible dose plutôt que peu fréquemment à haute dose. Les quantités généralement recommandées sont comprises entre 5 et 10 kg N/ha toutes les deux semaines.

Différents engrais phosphatés sont disponibles sur le marché. L'épandage d'un engrais riche en phosphore aboutit à la libération de phosphates dans l'eau. Ces derniers peuvent précipiter lorsque l'eau est riche en calcium ou que le pH est élevé. Les phosphates établissent alors des liaisons fortes avec le sédiment, ce qui les rend indisponibles pour le réseau trophique. Pour cette raison, il est généralement recommandé de dissoudre ces fertilisants avant de les épandre. Les quantités recommandées sont comprises entre 8,75 et 17,5 kg de P_2O_5 /ha toutes les deux semaines.

L'utilisation d'engrais minéraux est parfois limitée par les risques de toxicité de certains composés. La toxicité de l'azote est élevée lorsque les nitrites ou l'ammoniac non-ionisé sont abondants. La forme toxique NH_3 de l'ammoniac devient de plus en plus abondante lorsque le pH augmente.

L'épandage d'engrais déséquilibrés peut aussi favoriser le développement de certaines cyanobactéries, qui sont fréquemment dommageables à la pisciculture : diminution de

la croissance des poissons, désoxygénation de l'eau pouvant entraîner des mortalités, toxicité de certaines espèces. Comme certaines de ces algues sont en mesure d'utiliser l'azote atmosphérique N_2 , de nombreux auteurs considèrent qu'elles se développent lorsque le rapport N/P est faible. Mais des proliférations ont aussi été observées dans des situations opposées. En fait, ces algues semblent capables de se développer dans des environnements où les autres groupes ont du mal à s'établir, et elles prolifèrent donc à chaque fois que le milieu est déséquilibré (rapport N/P déséquilibré, étangs riches en fer, etc.).

● La fertilisation organique

Comme en agriculture, des engrais organiques peuvent être utilisés pour fertiliser des étangs. Il s'agit en général de déchets agricoles ou de sous-produits, en théorie peu coûteux. Ils stimulent efficacement l'écosystème, car ils ne contribuent pas seulement à l'enrichissement en azote et en phosphore. Ils fournissent aussi du carbone et de la matière organique. Ils stimulent donc non seulement la voie trophique autotrophe, mais également la voie hétérotrophe. En conséquence, les engrais organiques permettent d'obtenir des productions piscicoles supérieures à celles obtenues avec des engrais minéraux. Le tableau 11 donne la composition moyenne de certains engrais organiques utilisés en pisciculture, mais il peut y avoir en pratique des différences importantes par rapport aux valeurs présentées.

Tableau 11. Composition chimique de quelques engrais organiques (d'après Delincé, 1992)

Animaux	Ratio déjection : urine	Humidité	Azote (%)	Phosphore (% P_2O_5)	Potassium (% K_2O)
Vache laitière	75:25	85	4,0	2,7	3,4
Bœuf	75:25	85	7,8	2,5	3,6
Poulet	100	65	6,0	7,9	3,7
Porc	53:47	85	4,7	4,3	2,7
Mouton	67:33	70	3,9	2,4	3,5
Cheval	75:25	75	2,3	1,3	1,4

Des essais ont été conduits pour apprécier les impacts respectifs des engrais organiques (litière de poulailler et fumier de bovin laitier) et d'engrais chimiques (urée + superphosphate triple) sur la production de tilapia du Nil en étangs de terre. Les résultats montrent clairement que les meilleurs rendements sont obtenus en utilisant les déjections de poulet (11,7 kg/ha/jour) ou le fumier de bovin (8,6 kg/ha/jour).

La supériorité de certains fertilisants organiques est confirmée par d'autres expériences. En Chine, la comparaison entre la litière de poulailler, le lisier de porc et la fumier de bovin a montré que les meilleurs rendements étaient obtenus avec le lisier de porc et la litière de poulailler (respectivement 5,2 et 5,1 fois le témoin non fertilisé) et les moins bons avec le fumier de bovin (3,9 fois le témoin non fertilisé).

D'un autre côté, leur rapport entre contenu minéral et matière sèche est vingt à trente fois plus faible que celui des engrais minéraux. Ainsi, une tonne d'engrais organique possède une valeur fertilisante équivalente à environ 200 kg d'engrais minéral 10-5-10.

Une manière simple de fertiliser les étangs consiste à élever d'autres animaux sur (ou à proximité) des étangs. Le problème est ensuite de déterminer le stock animal nécessaire pour fertiliser correctement l'étang.

Le tableau 12 montre certains types d'associations poisson-animal et les productions obtenues. La taille des élevages associés varie en fonction du degré d'intensification, du poids et de l'âge des animaux. Pour les porcs, la taille d'élevage recommandée est de 35 à 85 porcs/ha et pour les canards, 1 000 à 3 500 canards/ha. La principale contrainte est liée au fait que les éleveurs doivent dominer parfaitement les deux élevages.

Tableau 12. Exemples d'élevages terrestres associés à la pisciculture et rendements piscicoles obtenus (t/ha/an)

Pays	Nombre d'animaux par ha	Rendement en poissons
	Canard	
Chine	2 500	3,4
Côte d'Ivoire	1 000 – 1 500	3,8 – 4,5
Philippines	750 – 1 250	2,2 – 4,5
	Porc	
Chine	30 – 45	2 – 3
Philippines	40 – 140	4,7 – 8,7
Côte d'Ivoire	50 – 100	7,7 – 10,2
	Poulet	
Côte d'Ivoire	2 500	5,4
Afrique du Sud	6 000	6,3

La concentration en oxygène dissous résulte d'un équilibre entre l'activité phytoplanctonique autotrophe (principale source d'oxygène) et l'activité bactérienne hétérotrophe (principal consommateur). Il y a une évolution quotidienne typique, caractérisée par une oxygénation progressive durant le jour⁷ et une désoxygénation durant la nuit⁸.

Comme déjà signalé, les apports fertilisants organiques stimulent l'activité hétérotrophe, consommatrice d'oxygène. Lorsqu'ils sont excessifs, ils peuvent entraîner une désoxygénation totale et la mortalité de tous les organismes aquatiques, dont les poissons. Pour cette raison les quantités d'épandage recommandées sont de l'ordre de 100 à 150 kg de matière sèche par hectare et par jour. Plus précisément, les apports journaliers recommandés (exprimés en pourcentage de la biomasse piscicole) sont de 3 à 4 % pour les déjections de bovin et le lisier de porc, 2 à 4 % pour la litière de poulet et 2 à 3 % pour la litière de canard (matière sèche).

Certains étangs ne répondent pas correctement à la fertilisation parce que leur pH est trop faible. En effet, la vase, lorsqu'elle est acide, retient les phosphates rendus ainsi indisponibles pour les organismes vivant dans l'étang. De plus, les organismes benthiques, et notamment les bactéries, ne se développent pas correctement lorsque le pH est trop faible, et le phytoplancton manque de carbone et de calcium dans des eaux dont la dureté et l'alcalinité sont trop faibles.

Pour accroître les bénéfices de la fertilisation, le pH de la vase doit donc être compris entre 6 et 7 et l'alcalinité totale doit être d'au moins de 20 mg/l de CaCO₃. Les épandages de chaux permettent de résoudre ces problèmes et ils ont d'autres avantages.

7 Production d'oxygène par photosynthèse supérieure à la consommation par l'activité bactérienne.

8 Consommation d'oxygène seule, pas de photosynthèse.

Ils permettent de *stériliser* l'étang pendant l'assèchement, en éliminant les parasites et pathogènes ; ils améliorent la décomposition de la matière organique ; ils accélèrent la nitrification ; ils réduisent le potentiel d'oxydoréduction du sédiment ; ils permettent de faire flocculer et sédimenter la matière organique dissoute ou en suspension, améliorant ainsi la pénétration de la lumière dans l'eau. La chaux peut aussi être amenée dans le but de compenser l'effet acidifiant de certains engrais azotés. Dans ce cas, les quantités nécessaires sont proportionnelles à la quantité de fertilisant épandue. Elles sont en général comprises entre 85 et 170 kg pour 100 kg de fertilisant acidifiant.

La chaux doit être épandue sur le fond des étangs asséchés ou à la surface des étangs remplis. Les quantités de chaux agricole épandues sont en général comprises entre 2 000 et 10 000 kg/ha et l'opération doit être répétée tous les trois à cinq ans. Il est recommandé d'apporter chaque année la moitié de l'apport initial.

● Les densités d'élevage

● La polyculture et la monoculture

La fertilisation peut s'avérer peu efficace si l'empeisonnement n'est pas réalisé correctement. Le contrôle de la population de poisson doit être total, ce qui implique de limiter l'introduction d'espèces sauvages (grille à l'arrivée d'eau) et de contrôler la reproduction à l'intérieur de l'étang : élevage monosexé ou polyculture avec un poisson prédateur dans le cas des tilapias.

La polyculture consiste à associer une espèce piscicole ayant un régime alimentaire complémentaire de l'espèce principale, afin d'accroître la biomasse produite dans l'étang et, si possible, de bénéficier d'effets synergiques entre les différentes espèces piscicoles. Il s'agit d'une situation intermédiaire entre la monoculture, où le flux d'énergie est concentré sur une seule espèce et un écosystème naturel en équilibre où les bénéficiaires du flux sont très diversifiés en termes d'espèces.

Si la polyculture est originaire d'Asie, elle est désormais pratiquée sur tous les continents. Les Chinois emploient deux méthodes. La première consiste à réaliser le cycle de production dans une série d'étangs contenant des poissons de tailles différentes. Dans l'autre, l'élevage est conduit dans le même étang, jusqu'à ce que la taille commerciale soit atteinte. Le poisson est alors récolté dès qu'il atteint cette taille commerciale et il est remplacé par des jeunes, qui y demeurent pendant une durée d'au moins un an. Les espèces et les ratios employés sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13. Densité de stockage concernant diverses formes de polyculture en étang (Chine), exprimée en pourcentage des différentes espèces (Billard, 1980)

	Nourriture dominante		
	<i>Macrophytes</i>	<i>Mollusques</i>	<i>Phytoplancton</i>
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	16	12	65
<i>Aristichthys nobilis</i>	10	7,4	10
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	55	24,2	12
<i>Cyprinus carpio</i>			
<i>Cirrhinus molitorella</i>		3	6
<i>Milopharyngodon piceus</i>		42	
Divers	19	10	8

Dans la polyculture traditionnelle d'Europe de l'Est, les carpes constituent le groupe dominant et les autres poissons représentent à peine plus de 10 % du total : tanche (6-7 %), brochet (0,9-1,7 %), salmonidés (3,2-5,5 %), autres (1,2-4,8 %).

En raison de leurs performances de croissance et de leur régime alimentaire à courte chaîne, les carpes herbivores chinoises (*Ctenopharyngodon idella*, macrophytophage et *Hypophthalmichthys molitrix*, phytoplanctonophage) sont souvent incluses dans la polyculture.

Exemples d'associations d'espèces

La polyculture israélienne associe ainsi 3 000 carpes communes (*Cyprinus carpio*) avec 1 000 carpes argentées (*Hypophthalmichthys molitrix*), 500 carpes herbivores (*Ctenopharyngodon idella*) et 7 000 tilapias par hectare. En Afrique, les élevages piscicoles associent le tilapia du Nil comme espèce principale (*Oreochromis niloticus*) avec un siluriforme (*Heterobranchus isopterus*, *Clarias sp.*), un ostéoglossidé (*Heterotis niloticus*) et le prédateur *Hemichromis fasciatus* (pour éliminer les alevins indésirables), selon un ratio de 0,03 *Heterotis niloticus*, 0,04 *Heterobranchus isopterus*, 0,2 *Hemichromis fasciatus* pour chaque tilapia. Dans ces conditions les espèces secondaires peuvent accroître le rendement piscicole total de plus de 40 %. En Amérique du Sud, des expériences ont été conduites avec *Colossoma macropomum* comme espèce principale et *Prochilodus sp.*, *Cyprinus carpio* et des tilapias comme espèces secondaires.

Les avantages de la polyculture

- > *les aliments naturels sont mieux utilisés, de façon plus complète*, puisqu'une seule espèce piscicole, même avec un large spectre alimentaire, n'utilise jamais toutes les ressources alimentaires d'un étang ;
- > *certaines impasses trophiques sont évitées*. Lorsque que la carpe commune est élevée en monoculture à densité élevée, un petit crustacé, *Bosmina longirostris*, se développe. Or ce crustacé se nourrit de phytoplancton et n'est pas consommé par la carpe commune. Ainsi, *Bosmina longirostris* se positionne comme un compétiteur des organismes zooplanctoniques herbivores qui seraient autrement consommés par la carpe commune. En revanche, lorsque la carpe argentée est introduite dans la polyculture avec la carpe commune, *Bosmina longirostris* régresse suite au broutage du phytoplancton exercé par *Hypophthalmichthys molitrix* ;
- > *la production des aliments naturels est stimulée*. La carpe commune a un comportement fouisseur lorsqu'elle est à la recherche d'aliments ; cette attitude remet en suspension et aère le sédiment, oxyde la matière organique et améliore le recyclage des éléments nutritifs qui stimulent la production d'aliments naturels ;
- > *il peut y avoir une double fertilisation*. Les déjections des poissons herbivores (*H. molitrix*, *C. idella*) sont tellement « riches » qu'elles ont un impact fertilisant qui peut être comparé à celui d'un élevage terrestre associé. Cet effet est parfois nommé « double fertilisation » parce qu'une fertilisation chimique est bien plus efficace quand ces poissons sont présents dans la polyculture. Cette double fertilisation peut augmenter le rendement en carpe de 14 à 35 % par rapport à une fertilisation normale obtenue en étang de monoculture ;

- > *la qualité de l'eau est améliorée.* En étang, la présence de carpe argentée ou de tilapia permet d'améliorer l'oxygénation de l'eau. Les carpes argentées consomment les algues sénescents en excès, qui autrement pourraient créer un déséquilibre entre la production et la consommation d'oxygène. Les tilapias améliorent aussi l'oxygénation en consommant la matière organique du fond qui, sinon, aurait été minéralisée par les bactéries consommatrices d'oxygène ;
- > *les organismes indésirables sont mieux contrôlés.* Le contrôle des mollusques est possible en étangs de pisciculture en utilisant 75 à 100 carpes noires ou 200 *Heterotis niloticus*/ha⁻¹, alors que les proliférations des petits poissons sauvages ou des crevettes peuvent être contrôlées en utilisant 200 à 600 poissons carnivores/ha⁻¹.

Les inconvénients de la polyculture

Ils surviennent surtout lorsqu'un déséquilibre apparaît suite à une compétition entre les espèces élevées. Par exemple, la polyculture de *Colossoma macropomum* avec *Piaractus brachypomus* ou *Brycon* sp. conduit à de faibles taux de croissance, probablement à cause d'une compétition alimentaire entre les différentes espèces.

De plus, lorsque la densité d'empoissonnement est très élevée, le rôle de la productivité naturelle de l'étang dans l'alimentation des poissons diminue, puisque les ressources trophiques naturelles doivent être réparties entre tous les individus. Le gain obtenu par la pratique de la polyculture est relativement limité, alors que le travail occasionné par le tri des différentes espèces au moment de la récolte devient une réelle contrainte.

La monoculture est donc la seule méthode d'élevage utilisée dans les systèmes intensifs où l'apport des aliments naturels est très limité. En étang, des densités d'empoissonnement élevées ne sont pas courantes, car l'oxygénation et l'accumulation de substances toxiques (NH₃, NO₂, etc.) deviennent vite un facteur limitant.

L'exemple de la monoculture de *Oreochromis niloticus*

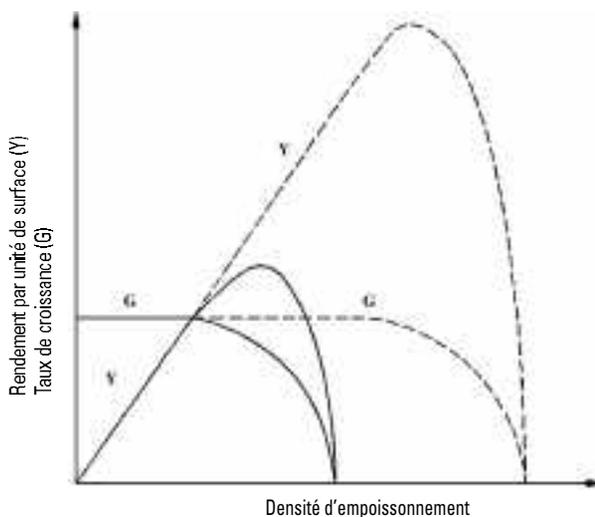
Elle a permis d'obtenir une production supérieure à une polyculture (4-3-3) de *Hypophthalmichthys molitrix*, *Labeo rohita* et *Cirrhinus mrigala*, que ce soit à la densité d'un ou de trois poissons/m². Pourquoi ? Parce que les bonnes conditions d'oxygénation de la monoculture de tilapia ont permis d'accroître les apports de fertilisants, ce qui n'était pas le cas dans la polyculture de carpes où ce facteur était critique.

● La densité d'empoissonnement des étangs

La densité d'empoissonnement optimale d'un étang de pisciculture est la quantité de poisson au début de la période de production qui garantit l'obtention du revenu économique le plus élevé. La définition de la densité d'empoissonnement d'un étang est l'un des paramètres les plus importants dans la réussite d'un élevage.

Dans les systèmes aquacoles, un stock de jeunes poissons grossit à une vitesse presque maximale tant que l'aliment et les autres conditions environnementales ne sont pas limitantes. Lorsqu'elles le deviennent, la biomasse atteinte est appelée charge critique ou *critical standing crop* (CSC). La croissance diminue à partir de cette CSC, mais elle n'est pas nulle. La biomasse continue donc à augmenter, jusqu'à ce que la population atteigne le niveau de capacité biotique ou *carrying capacity* (K).

À partir de K, les effets liés à la densité de la population sont tels que la croissance cesse et la biomasse reste stable. Il est cependant possible d'augmenter la densité d'empeusement, ce qui permet d'accroître le rendement, tant que le taux d'augmentation de la densité d'empeusement reste supérieur à la diminution du taux de croissance individuel. Mais à partir du moment où la diminution du taux de croissance devient supérieure à l'augmentation de densité, le rendement chute, ainsi que cela apparaît sur la figure 2.



► Figure 2. Présentation schématique des relations entre la densité d'empeusement, le taux de croissance instantané (G), et le rendement instantané par unité de surface (Y), avec (pointillé) et sans (trait plein) alimentation complémentaire (d'après Hepher, 1988, redessiné)

Exemple de calcul de charge critique

Par exemple, dans un étang de carpes fertilisé et nourri avec des céréales (2 200 carpes/ha), la CSC est atteinte lorsque le poisson parvient à un poids moyen de 275 g ($0,275 \times 2\,000 = 550$ kg/ha). En dessous de ce poids, le taux de croissance est maximal, mais au-dessus de 275 g, le taux de croissance est inférieur au taux potentiel, à cause du manque d'aliment. Lorsque les carpes atteignent 1 kg (2 000 kg/ha), elles cessent de croître. En revanche, si le même étang est empeonné avec 4 000 carpes/ha, la CSC est atteinte à 137 g et elles cessent de croître à 500 g.

Si les poissons sont placés dans des étangs à faible densité et que les aliments naturels sont abondants, ils grossissent à la vitesse maximale permise par la température. L'apport d'aliment complémentaire est inutile à ce stade et n'apporte rien de plus car l'aliment n'est pas un facteur limitant. En revanche, lorsque le stock élevé atteint la CSC, l'aliment devient limitant. La croissance diminue donc, sauf si la gestion de l'élevage est intensifiée.

Si la production d'aliment naturel peut être accrue par fertilisation, la croissance maximale est de nouveau relancée, jusqu'à ce qu'une nouvelle CSC soit atteinte à un niveau supérieur.

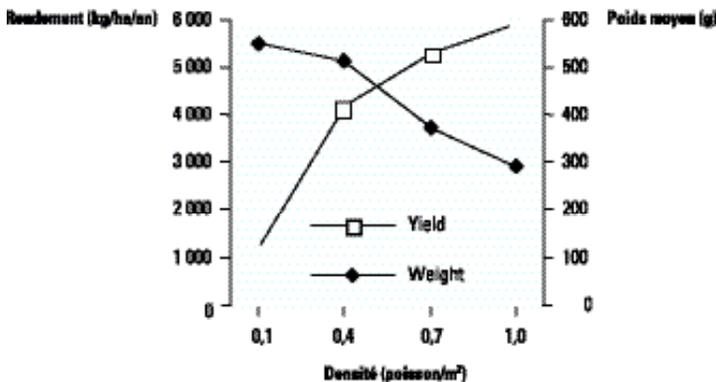
À ce stade, une alimentation complémentaire peut s'avérer nécessaire au maintien de la croissance maximale. Puis, de nouveau, une CSC est atteinte lorsque la qualité de l'aliment ou la qualité de l'eau devient limitante. Ces relations entre la densité d'empeisonnement et le niveau des apports d'intrants peuvent être clairement observées dans les figures 1 et 2.

Rendement, croissance individuelle et densité

La densité peut être utilisée pour réguler le taux de croissance moyen des poissons et par conséquent, la durée de la période d'élevage. Comme déjà vu, lorsque la densité d'empeisonnement est accrue, la CSC est atteinte pour un poids individuel moindre et la croissance au-delà de la CSC est réduite. La croissance moyenne sur la totalité de la période d'élevage est par conséquent inférieure. De façon plus générale, le rendement et la croissance individuelle sont respectivement positivement et inversement corrélés à la densité. En d'autres termes, jusqu'à un certain seuil, plus la densité est basse, plus la croissance est rapide et plus le rendement est faible.

Le revenu économique d'une pisciculture ne dépend pas uniquement du rendement total, mais aussi du prix de vente du poisson. Lorsque le poisson est vendu au même prix quel que soit son poids individuel, le pisciculteur doit choisir la densité qui correspond au rendement le plus élevé par unité de surface. Lorsque les poissons de grande taille sont vendus à un meilleur prix au kilogramme sur le marché, le pisciculteur doit trouver un compromis entre le rendement et le poids moyen final.

En conditions d'élevage semi-intensives⁹, le principal facteur contrôlé par le pisciculteur est la densité d'empeisonnement. En utilisant des densités peu élevées, il peut obtenir un meilleur taux de croissance, un poids final plus élevé mais un rendement moindre. Mais avec un taux de croissance supérieur, la durée du cycle d'élevage diminue, ce qui peut permettre d'obtenir un bénéfice supérieur à la fin de l'année. Des expériences conduites en Côte d'Ivoire (figure 3) ont montré qu'en utilisant du son de riz comme unique intrant, le compromis entre le rendement et le poids moyen final se situe pour une densité comprise entre 4 000 et 7 000 tilapias du Nil/ha. Désormais, on conseille l'emploi de densités d'empeisonnement plus faibles qu'auparavant (20 000 poissons/ha) pour l'aquaculture à faible niveau d'intrants.



► Figure 3. Rendement et poids moyen individuel en fin d'élevage de tilapia du Nil en fonction de la densité de mise en charge (Dabbadie, 1996)

9 Utilisation de déjections animales ou de sous produits agricoles de faible valeur.

LES AMÉNAGEMENTS PISCICOLES

Comme pour l'ensemble des aménagements hydro-agricoles, la réussite de l'implantation de nouveaux étangs piscicoles dépend de facteurs techniques et sociaux. La plupart des poissons produits dans des zones tropicales, le sont en étangs ; ses qualités conditionnent en partie les pratiques piscicoles.

La conception et la réalisation des étangs doivent permettre la maîtrise la plus parfaite possible des poissons et de l'eau ; de plus, la qualité des ouvrages piscicoles détermine aussi la facilité avec laquelle le suivi, la récolte et le tri peuvent se faire, en d'autres termes, elles déterminent la faisabilité de la pisciculture.

Les étangs restent avant tout des aménagements agricoles et ils sont fonctionnels seulement s'ils sont utilisés, entretenus et même reproduits par les producteurs.

● **Les qualités idéales d'un étang**

La maîtrise de la population de poissons et de la circulation de l'eau nécessite que les points suivants soient respectés :

- > *L'étang peut se remplir dès que le besoin s'en fait ressentir*, à tout moment de l'année, et le pisciculteur peut renouveler l'eau de façon partielle ou totale ;
- > *L'étang peut se vider*. Outre le fait que c'est le moyen le plus efficace et le moins cher pour récolter les poissons, l'assec de l'étang améliore les qualités de la vase du fond ce qui est bénéfique pour la productivité de l'étang. C'est aussi un excellent moyen de se débarrasser des poissons sauvages et de pratiquer un vide sanitaire : l'assec doit donc pouvoir être total, toutes les flaques doivent pouvoir être vidées ;
- > *L'eau de l'étang peut être isolée de la circulation de l'eau environnante* : ceci permet la pratique de la fertilisation, empêche que le milieu d'élevage soit envahi par des poissons indésirables du milieu naturel ou que les poissons élevés ne s'échappent. L'étang doit bien sûr être protégé des crues (par des systèmes de trop-pleins adaptés) ; les infiltrations et les fuites doivent être minimales ;
- > *L'étang doit mesurer, sur sa plus grande partie, entre 60 cm et 1 m de profondeur*. Ceci facilite la mise en place de fermentation aérobie au niveau des sédiments favorables à l'obtention de bons rendements. Une profondeur moindre facilite la prédation des poissons et l'envahissement du milieu par certains végétaux, tandis qu'une profondeur plus importante limite le réchauffement des eaux (facteur positif) et accroît les risques d'anaérobiose sur le fond.

Plus la surface en eau d'un étang est grande plus sa capacité à produire du poisson est élevée.

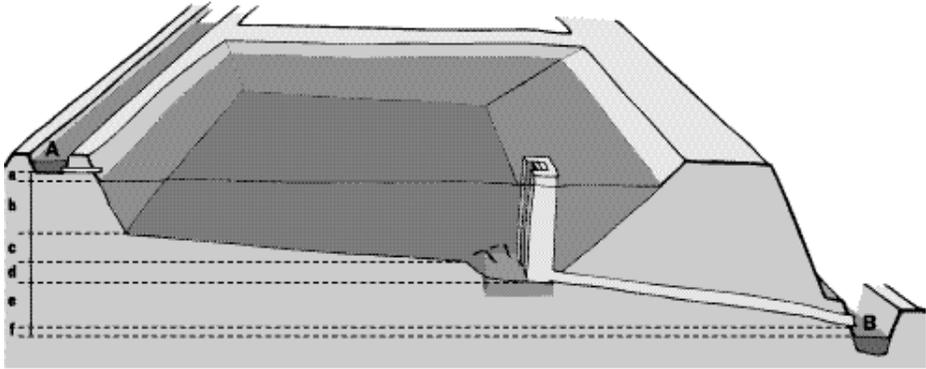
● **Quelques grands types d'aménagements piscicoles**

● **L'étang de dérivation**

L'eau est dérivée à partir d'un cours d'eau permanent à l'aide d'un canal d'alimentation qui suit à peu près la courbe de niveau avec une pente variant de 0 à 1 ‰. Elle peut ensuite alimenter un étang dont les parties les moins profondes mesurent 60 cm ; une pente de 1 à 2 ‰ sur l'assiette assure une bonne vidange vers un tuyau

d'évacuation, souvent équipé d'un moine et dont l'ouverture est située dans la partie la plus basse de l'étang.

Le dénivelé minimum nécessaire pour un étang de 30 m de long est de 1,3 m. Il correspond à $b + c + e$ (voir figure 4). Des ouvrages (batardeaux, microbarrages) édiés sur le cours d'eau peuvent faciliter le remplissage de l'étang.



Légende :

- a) chute d'eau au canal d'alimentation : (20 cm)
- b) profondeur minimale de l'étang : 60 cm
- c) pente de l'assiette (2 %) : pour 30 m d'assiette : 60 cm
- d) enterrement du moine : (10 cm)
- e) pente dans le tuyau de vidange : 10 cm
- f) chute d'eau dans le canal de vidange : (10 cm)

Les chiffres entre parenthèses sont des indications.

► Figure 4. Schéma en coupe d'un étang

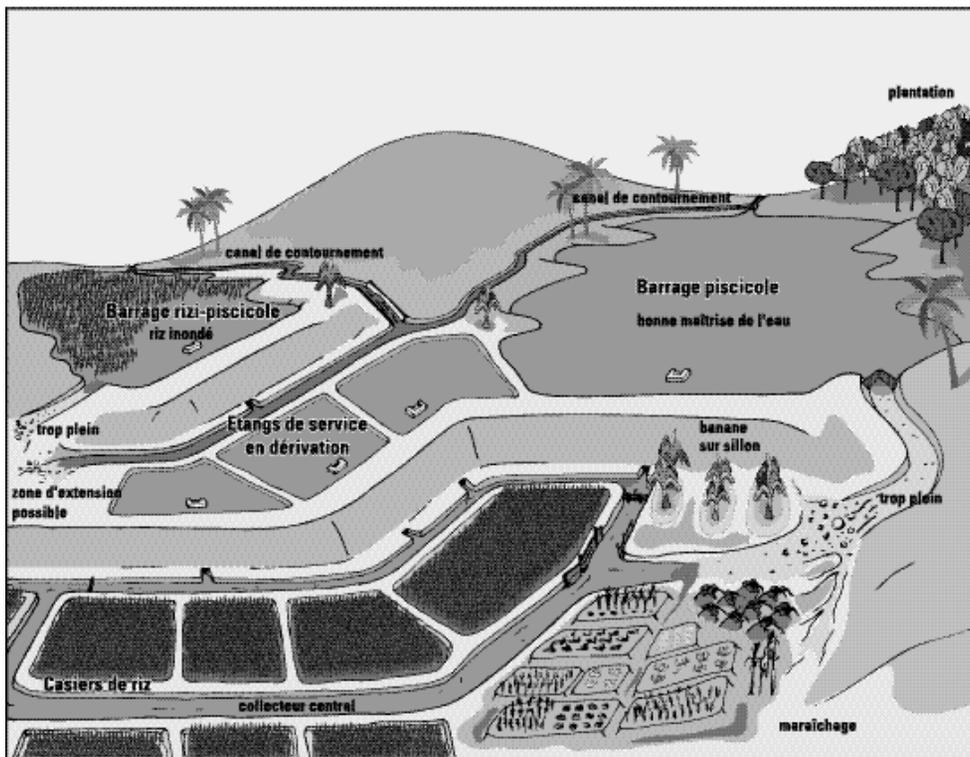
● L'étang de barrage

Une digue en travers de la vallée permet de retenir l'eau. Cette retenue devient un bon outil pour la pisciculture, à condition que le cours d'eau qui s'écoule normalement dans la vallée soit dévié de la retenue par un fossé de dérivation (appelé parfois canal de contournement), et que la retenue puisse être complètement vidée.

La gestion des crues est particulièrement délicate sur ces aménagements et nécessite la réalisation de trop-pleins correctement dimensionnés. Ces ouvrages sont plus faciles à réaliser s'ils se situent en tête de bas-fonds.

● Un continuum possible

Une complémentarité dans l'espace s'établit, de fait, entre les étangs de barrage situés dans le lit des rivières et les étangs de dérivation situés sur les coteaux (voir figure 5). Les conceptions de ce genre permettent, pour une même surface, de construire moins de digues, certaines servant pour plusieurs étangs à la fois. Elles constituent aussi un moyen d'économiser l'eau qui peut être réutilisée plusieurs fois.



► Figure 5. Aménagements piscicoles résultant d'une conception d'ensemble

DES POINTS SENSIBLES LORS DE LA CONCEPTION

● *L'utilisation du dénivelé*

Lorsque le dénivelé total¹⁰ est nettement supérieur à ce qui est nécessaire pour un plan d'étang, le choix de l'implantation de la digue devient délicat : d'une part, il faut rechercher le terrassement minimal qui offre la plus grande surface d'eau ; d'autre part, en général, moins les étangs seront profonds plus les digues seront faciles à réaliser mais plus les surfaces productives seront réduites.

● *Economiser l'eau*

Les étangs ne doivent pas être implantés de façon à rentrer en concurrence avec d'autres aménagements quant à l'utilisation de l'eau. La plus grande complémentarité possible dans l'utilisation de l'eau avec les autres utilisations (riz, maraîchage par exemple) doit être recherchée, c'est l'une des conditions d'une entraide sociale.

¹⁰ Différence entre le niveau de l'alimentation la plus élevée et de la vidange la plus basse.

La façon dont seront placées les digues permet souvent d'économiser l'eau. Le remplissage d'un étang s'accompagne de l'établissement d'une nappe sous-jacente qui constitue un élément important de l'aptitude de l'étang à garder l'eau ; mieux vaut chercher un positionnement de l'étang qui freine la circulation de la nappe vers l'aval, plutôt qu'un positionnement qui aurait tendance à drainer la nappe existante.

Si, dans son trajet, l'eau rencontre une nappe phréatique située plus bas, l'eau située dans le sous-sol de l'étang est en équilibre avec la nappe puisqu'elle perd sa pression : dans ce cas favorable, il n'y a plus d'infiltration une fois que le sol sous les étangs est saturé en eau.

● Bien dimensionner la digue-aval

La digue qui ceinture le site piscicole et qui empêche l'eau de partir en aval, est l'objet d'une pression de l'eau retenue dans les étangs, celle-ci sature la terre dans le bas de la digue (voir figure 6). Cette digue-aval doit être conçue en conséquence pour éviter toute infiltration. Sur les terrains sableux, elle doit avoir une base plus large que sur les terrains argileux.



► Figure 6. Localisation de la terre saturée en eau dans une digue

Sur la figure 6, la digue en A est insuffisamment large, si bien qu'il y a de nombreuses infiltrations dans le pied de la digue-aval. Si la digue est élargie jusqu'en B, l'eau est contenue dans le sol et perd sa pression, il n'y aura pas d'infiltration dans le pied de la digue (voir figure 7).

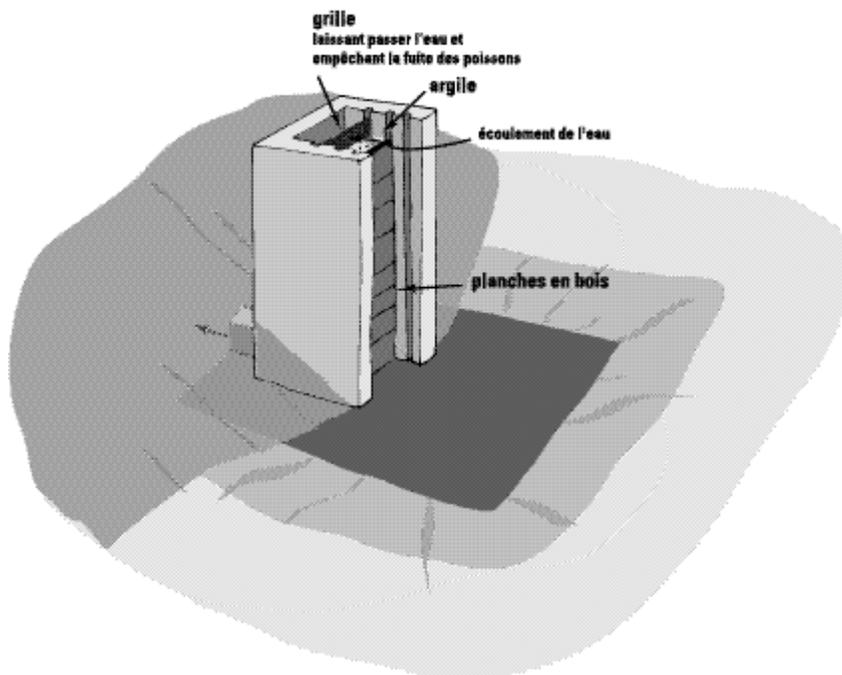


► Figure 7 : dimensionnement de la digue en fonction des infiltrations

De façon empirique, la vérification de l'état d'humidité de l'arrière de la digue permet de vérifier si la digue a été correctement élargie.

● Choisir un type de moine

Le moine est l'équipement le plus facile à réaliser. Il permet à la fois une vidange et un trop-plein, plusieurs matériaux peuvent servir à sa construction : si dans certains endroits le PVC revient moins cher, dans d'autres (Côte d'Ivoire, Guinée) des moines et des buses réalisés en béton à l'aide de moule en bois se révèlent nettement plus avantageux.



► Figure 8. Un exemple de moine

● En conclusion

Les décisions prises sont fréquemment des compromis, par exemple entre la taille de l'aménagement souhaitée par le pisciculteur, sa capacité d'investissement et ses objectifs de rentabilité.

Dans les régions où le développement de la pisciculture paraît embryonnaire, la recherche d'un aménagement convenant à la plupart des espèces élevées constitue un gage de durabilité de l'investissement. La réalisation de bassins annexes (étangs de service) pouvant servir au stockage des poissons lors des vidanges, à l'isolement de certains poissons, ou à leur reproduction, est généralement une nécessité.

La conception des étangs constitue un exercice complexe dans des bas-fonds très enherbés ! Cet exercice paraît impossible à résoudre sans l'emploi d'un niveau de chantier avec trépieds et d'une mire donnant une bonne vision d'ensemble du bas-fond. La matérialisation soignée du plan avec des piquets permet aux producteurs de bénéficier d'une conception réfléchie.

● **Des points sensibles sur le plan social**

La volonté de produire des poissons n'est pas la seule motivation pour aménager un étang :

- > aménager un étang représente aussi, comme installer une plantation, un excellent moyen de marquer durablement le foncier. Les stratégies d'appropriation foncière ne doivent pas être ignorées (cf. chapitre 231) ;
- > la possibilité (très fréquente) de bénéficier de subventions ou de crédits pour construire des étangs constitue une motivation qui gêne l'évaluation technique et économique de la pisciculture.

La pisciculture communautaire s'est souvent soldée par un échec. Les avantages apparents de cette forme de pisciculture se traduisent le plus souvent par des désavantages : pertes de temps, difficultés de responsabilisation pour le suivi, litiges fonciers qui ressurgissent fréquemment dès la fin du projet.

Pour que la pisciculture puisse se développer au sein d'un système agraire, il faut que l'aménagement soit accessible à nombre d'exploitants agricoles. Poser d'emblée la question de la subvention ou du crédit comme une condition de développement empêche la nécessaire adaptation de la démarche d'aménagement et du modèle proposé aux capacités effectives des paysans. Les questions relatives à l'organisation des formations à la construction, à la spécialisation de personnes-relais dans la diffusion des connaissances, au contrôle de leur évolution, aux moyens de générer un capital de connaissance en découlent.

Pour la construction des étangs, il vaut mieux que le tâcheron (celui qui exécute de façon contractuelle l'étang) ne soit pas aussi le concepteur, sinon toutes les solutions visant à minimiser le terrassement seront privilégiées au détriment de solutions plus difficiles qui peuvent parfois mieux correspondre aux besoins des pisciculteurs. C'est pour cela qu'en Guinée et en Côte d'Ivoire, des aménagistes, sous le contrôle des pisciculteurs, participent à la conception des étangs.

D'une façon résumée, *comment développer la pisciculture ?* se traduit dans les régions sans grand passé hydro-agricole par *comment initier une dynamique de groupe entraînant la réalisation constante de nouveaux étangs répondant aux besoins socio-économiques des producteurs ?*

● **Un aménagement conditionné par le milieu environnant**

● **L'influence du climat**

Le climat a une incidence importante sur la conception des étangs : plus la saison sèche est longue, plus le risque d'une évaporation cumulée est fort ; les étangs doivent donc avoir une hauteur d'eau importante afin de garder l'eau de façon continue et les terrains doivent être imperméables. La construction d'étangs représente un travail d'autant plus important que la saison sèche est longue.

Les régions qui ont une bonne répartition des pluies tout au long de l'année disposent bien évidemment d'un avantage important pour la pisciculture. Dans les zones à longue saison sèche (Niger, versants secs de Sulawesi par exemple), les aménagements piscicoles les plus accessibles aux paysans sont des puits qui permettent aux poissons de se réfugier et de maintenir un potentiel reproducteur en attendant le retour des eaux à la saison des pluies. La réalisation d'un étang classique n'est généralement pas accessible aux paysans de ces régions.

En zone sèche, la construction d'étangs ne peut se faire qu'avec des sols argileux et nécessite un cours d'eau permanent. En revanche, l'utilisation de nappes temporaires qui s'établissent lors de la saison des pluies et la valorisation de terrain sableux sont possibles dans des milieux humides.

Les techniques de construction sont également variables et dépendent de l'environnement : alors qu'il est généralement recommandé d'arroser et de compacter l'argile lors de la construction des digues, l'installation d'un noyau étanche au sein des digues est parfois suffisant. En zone tropicale humide, le simple empilement de terre meuble suffit à l'édification de digues correctes à la condition que les matériaux organiques importants (bois, terres végétales des bas-fonds) soient soigneusement retirés.

● L'influence des autres facteurs

Le relief a également beaucoup d'importance. Les zones accidentées rendent difficile l'aménagement de surfaces importantes. À l'inverse, des zones trop plates entraînent la réalisation d'ouvrages importants pour obtenir des hauteurs d'eau intéressantes.

Le rôle de la température influe sur le choix des systèmes d'élevage, qui n'ont pas les mêmes performances et dont il faut tenir compte pour dimensionner correctement le projet.

Un exemple de démarche d'aménagement

Première étape

- repérer le terrain et la vallée ;
- comprendre le fonctionnement du réseau hydrographique : écoulements de surfaces et nappes sous-jacentes (saisonnalité, débits), taille des bassins versants concernés, nature des sols, obstacles éventuels (barre rocheuse) ;
- valoriser les connaissances des populations environnantes, expliquer les éléments recherchés à l'ensemble des pisciculteurs ;
- faire un exposé public des limites foncières pouvant être renforcées par un document certifié localement.

Deuxième étape

- à l'aide de la lunette topographique, mesurer le dénivelé et les transects qui permettent de déterminer la surface aménageable, l'ensemble de la vallée est pris en compte au delà des limites foncières ;
- discuter avec le pisciculteur et si possible avec d'autres pisciculteurs afin de définir un premier projet évolutif : estimation du terrassement, de la surface en eau, du gain espéré et des évolutions possibles ;
- parfois renégocier ou faire des échanges de parcelles environnantes.

Troisième étape

- faire un piquetage qui matérialise le projet défini à l'étape précédente.

Quatrième étape

- construire des digues, confectionner des moines, vérifier la capacité d'investissement du paysan ;
- si des problèmes apparaissent, ajuster le projet.

Cinquième étape

- mettre en eau ;
- vérifier les hypothèses de remplissage et de dimensionnement des digues ;
- constater les modifications du milieu (niveau des nappes notamment) ;
- ajuster le projet, discuter de la poursuite et des extensions.

Cet exemple souligne la nécessité d'établir une démarche régionale d'aménagement prenant en compte à la fois les contraintes environnementales¹¹ et les contraintes socio-économiques¹², les stratégies d'investissement et d'acquisition de connaissances développées par les producteurs. Une définition soignée de la démarche permet en retour de l'évaluer et de l'améliorer.

LES DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES

● *L'analyse économique des exploitations piscicoles*

Tous les niveaux d'intensification sont utilisés dans le monde en aquaculture d'eau douce, des plus extensifs aux plus intensifs. Deux exemples sont présentés ici : aux Philippines et en Afrique.

Aux Philippines, les tableaux 14 à 16 donnent des comptes d'exploitation annuels de différents systèmes de production piscicole : rizipisciculture, élevage associé porc-poisson, élevage en cages flottantes.

Tableau 14. Compte d'exploitation d'une rizipisciculture de 1 000 mètres carrés (deux récoltes) aux Philippines, en 1990 (en P, 1 US\$ # 30 P)

Rubrique	Montant (P)
1. Coûts	
a) Coûts variables	
Semences de riz (6 P/kg)	60
Fingerlings de <i>O. niloticus</i> (1 000 individus de 15g à 0,25 P/individu)	250
Engrais	305
Pesticides/produits chimiques	245
Main d'œuvre	1 620
Matériaux	30
Sous-total	2 510
b) Coûts fixes	
Intérêt sur emprunt	90
Amortissement	116
Taxes	57
Frais d'irrigation	88
Sous- total	351
Total coûts	2 861
2. Recettes	
Riz paddy (250 P/sac de 50 kg)	3 750
Poisson marchand (30 P/kg)	900
Total recettes	4 650
3. Bénéfice net	1 789

¹¹ Eaux, sols, topographie.

¹² Capacité de terrassement en travail et en capital des candidats, capital de connaissance présent, accès au foncier.

Tableau 15. Compte d'exploitation semestriel d'une pisciculture en étangs de terre de 1 000 mètres carrés associée à un élevage d'engraissement de porc en 1990 (en P, 1 US\$ # 30 P)

Rubrique	Montant (P)
4. Investissements	
Construction de l'étang (terrassment et ouvrages hydrauliques)	7 500
Porcherie	9 000
Total Investissements	16 500
5. Coûts	
a) Coûts variables	
Porcelets (10-12 kg à 800 P/tête)	8 000
Fingerlings 4 000 individus à 0,20 P/individu	800
Aliments	13 320
Main d'œuvre	5 520
Produits vétérinaires	666
Réparations et maintenance	25
Divers	500
Sous-total	29 631
b) Coûts Fixes	
Amortissement porcherie	675
Total coûts	30 306
6. Recettes	
Porcs	28 050
Poissons Tilapia	10 140
Carpes	1 575
Total recettes	39 765
7. Bénéfice Net	9 459

Tableau 16. Compte d'exploitation d'une ferme de production de tilapia en cages flottantes aux Philippines (en P, 1 US\$ # 30 P)

1. Investissement		
10 cages y compris poches en filet et abris de gardien	300 000	
Balance	8 000	
Caisnes plastique	20 000	
Equipement de transport	300 000	
Total	628 000	
2. Coût de production		Coût/kg
Alevin 120 000 alevins à 0,25 P/individu	P 30 000	1,70
Aliment (10 P/kg; FCR =2)	300 000	11,90
Main-d'œuvre		
Gardien	25 000	0,99
Ouvriers (nettoyage et entretien des cages)	15 750	0,62
Récolte (main d'œuvre temporaire)	10 500	0,42
Chauffeur	15 750	0,62
Glace	12 500	0,50
Amortissement équipements (5 ans)	65 600	2,60
Amortissement cages (2 ans)	150 000	5,95
Carburant	15 000	0,60
Total	P 640 000	P25,40
3. Recettes		
25 200 kg x 35 P/kg	P 882 000	
4. Bénéfice net	P 242 000	

Données de production

Densité de mise en charge = 12 000 alevins/cage.
Poids moyen final = 300 g.

Taux de survie= 70 %.

Production 2 520 kg/cage x 10 cages = 25 200 kg.

L'analyse économique montre une meilleure rentabilité des systèmes intégrés. L'analyse comparée des taux de retour sur investissement des différents systèmes piscicoles montre que les systèmes de pisciculture intégrés à l'élevage sont les systèmes les plus rentables, avec des taux de retour sur investissement supérieurs à 63 % (tableau 17).

Tableau 17. Taux de retour sur investissement pour différentes productions (Philippines, 1990)

Système	Taux de retour
Riz	33 %
Rizipisciculture	42 %
Monoculture de tilapia	48 %
Elevage de porc	53 %
Pisciculture associée à un élevage de porc	63 %

Intégrer le poisson avec le riz permet d'augmenter le revenu d'environ 30-40 %, la même augmentation étant obtenue avec l'association de la pisciculture à un élevage terrestre. Dans ce dernier cas, cependant, la contribution du poisson au revenu net peut être supérieure à 50 %.

L'élevage en cages, le système le plus intensif, nécessite un niveau élevé de trésorerie et les coûts de production sont formés essentiellement par les aliments et secondairement, par les alevins. Ce mode d'élevage conduit à un plus faible bénéfice net par unité de poids de poisson produit. Pour obtenir le même revenu net, le pisciculteur doit disposer d'unités de production plus grandes.

En Afrique de l'Ouest, l'élevage en cages flottantes de tilapia au Niger montre les mêmes tendances économiques que celles observées aux Philippines pour ce même mode d'élevage (tableau 18).

Tableau 18. Compte d'exploitation d'une cage flottante d'élevage de tilapia de 20 m³ sur le fleuve Niger (Afrique de l'Ouest) en 1995 (en francs CFA, 1 US\$ = 600 FCFA)

Rubriques (F CFA)	Par cage de 20 m ³	Par kg de poisson	Coûts (%)
Coûts			
Coûts fixes	29 500	67,5	11,0
Amortissement de la cage (7 ans)	28 000	64,0	10,5
Amortissement de l'équipement (3 ans)	1 500	3,0	0,5
Coûts variables	243 000	558,5	89,0
Entretien de la cage	5 000	11,5	2,0
Alevins : 2.200 x 45 CFA	99 000	227,5	36,0
Aliment : 363 x 3 x 100 CFA	109 000	250,5	40,0
Transport (alevins, aliment et poisson marchand)	30 000	69,0	11,0
Total coûts	272 500	626,0	100,0
Recettes : 435 kg x 850 F CFA	369 750	850,0	
Bénéfice net	97 250	224,0	

En Côte d'Ivoire, l'analyse comparative de différents systèmes de production piscicole en étangs met en évidence que les modes de production les plus intensifs, utilisant un aliment composé, ne sont pas ceux qui conduisent à la meilleure rentabilité financière (tableau 19).

Tableau 19. Ratios de rentabilité financière de différents modèles de pisciculture développés en Côte d'Ivoire (Koffi *et al.*, 1996)

Modèles	Ratios	(moyenne)	(écart-type)
M1	BNE/T	14 189	5 117
	TRT	2 745	1 006
	TRF	47 %	0.17
	TRA	47 %	0.17
M2	BNE/T	13 604	6 850
	TRT	2 01	1 410
	TRF	43 %	0.26
	TRA	43 %	0.26
M3	BNE/T	22 009	6 369
	TRT	3 919	1 410
	TRF	522 %	3.57
	TRA	126 %	0.75

BNE/T : bénéfice net d'exploitation par are et par an en F CFA

TRT : taux de rémunération journalière du travail et de la gestion familiale en F CFA

TRF : taux de rentabilité des fonds propres

TRA : taux de rentabilité des actifs

Modèle M1 : encadrement dense - pisciculteurs témoins Bouaké - tilapia monosexé mâle + espèce prédatrice associée : *Clarias* - aliment composé.

Modèle M2 : encadrement dense - Pisciculteurs témoins Daloa - tilapia monosexé mâle + espèce prédatrice associée : *Clarias* - aliment son de riz.

Modèle M3 : encadrement dense PAPU-CD (Projet agricole périurbain de la commune de Daloa) - tilapia monosexé mâle + espèces prédatrices + polyculture de *Heterotis* et de *Heterobranchus* - aliment son de riz et intégration à l'élevage de porcs pour la fertilisation organique.

Cette analyse montre également l'intérêt qu'il y a à combiner un fertilisant organique et un aliment complémentaire à coût peu élevé (son de riz) dans le cas du modèle M3.

Les spéculations qui entrent le plus en compétition avec la pisciculture pour le foncier et l'eau sont le riz irrigué et le maraîchage. La comparaison des produits monétaires indique que la mise en œuvre de modèles piscicoles tels que ceux développés en Côte d'Ivoire valorise mieux la terre que le riz irrigué : 13 600 à 22 000 francs CFA/100 m²/an pour la pisciculture contre 1 600 à 5 600 francs CFA/100 m²/an pour le riz irrigué.

En termes de valorisation du travail familial, les modèles d'élevage monosexé de tilapia peuvent être favorablement comparés à d'autres productions alimentaires : 2 500 à 3 900 francs CFA/jour pour la pisciculture, 460 à 2 000 francs CFA/jour pour le riz irrigué et 670 à 1 100 francs CFA/jour pour la culture d'igname. De plus, les taux de retour sur investissement des bonnes piscicultures d'étang d'Afrique se situent entre 43 et 52 %, et sont donc totalement comparables à ceux enregistrés aux Philippines (48 à 63 %).

LES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE D'EAU DOUCE

Bien que la production totale de poissons, mollusques, crustacés et d'algues issue de la pêche ait totalisé 92 millions de tonnes en 1995, les marchés destinés à la consommation humaine directe ont représenté seulement 61 millions de tonnes (poids frais) de ce total, soit 66 %. Le restant, 31 millions de tonnes, a été transformé en farine et huile de poisson utilisées comme aliments pour le bétail, ou à des fins industrielles.

Entre 1984 et 1995, le volume des captures issues de la pêche a augmenté à un taux moyen annuel de 1,5 %. Durant la même période, l'aquaculture a enregistré une forte croissance, avec une production de poissons de consommation augmentant à un taux annuel de 10,9 %, contre 3,1 % d'augmentation pour les autres viandes d'animaux terrestres. Au niveau mondial, la contribution de l'aquaculture à la production totale de poissons de consommation a plus que doublé entre 1984 (11,5 %) et 1995 (25,6 %). La contribution de l'aquaculture à la production mondiale a ainsi atteint 23 % en 1995 (70 % du total des poissons d'eau douce, 37 % du total des poissons diadromes et seulement 1,3 % des poissons marins). En terme de fourniture alimentaire, l'aquaculture a produit 6,2 % de la production totale mondiale de viandes d'animaux d'élevage, se plaçant en quatrième position (porcs : 37,6 %, bovins et veaux : 24 %, poulet : 20,9 %).

Plus de 85 % de la production totale de poisson d'aquaculture est issue des pays en développement et particulièrement des pays à bas revenus qui ont fourni plus de 76 % de la production totale de poissons de pisciculture. Dans ces pays, la production piscicole par individu est passée de 1,2 à 4,5 kg entre 1984 et 1995. La contribution de l'aquaculture (et particulièrement de la pisciculture d'eau douce) à la sécurité alimentaire des zones rurales des pays en développement est donc probablement bien supérieure à ce qui est rapporté par les statistiques officielles de pays concernés en raison de l'autoconsommation par les pisciculteurs et leurs familles, non prise en compte.

Dans les pays asiatiques les plus avancés en matière de production piscicole, le poisson de consommation joue un rôle majeur dans la nutrition humaine, en fournissant plus du tiers des apports totaux de protéines animales : 35 % au Vietnam, 41,1 % en Thaïlande, 51,5 % aux Philippines et jusqu'à 65,2 % en Corée du Nord (DPR). En Afrique, bien que la contribution du continent à la production aquacole mondiale soit la plus faible (moins de 0,4 %), le poisson de consommation joue un rôle essentiel en fournissant plus de 30 % des apports totaux en protéines animales dans des pays comme le Ghana (58,6 %), le Congo (45,3 %), le Malawi (44,2 %), le Sénégal (37,8 %) et la Côte d'Ivoire (36,0 %). Cette forte tradition de consommation de poisson devrait aider l'aquaculture à se développer dans les prochaines années. En Amérique latine, l'aquaculture est essentiellement orientée vers l'exportation (crevettes et salmonidés) et la pisciculture d'eau douce représente à peine 2 % du volume total de la production aquacole mondiale en 1995. En comparaison, l'essentiel de la production aquacole de poisson de consommation dans les pays développés est restreint à la production d'espèces à forte valeur ajoutée, et elle concerne surtout les espèces marines et diadromes ainsi que les crevettes.

Dans le futur, l'aquaculture d'eau douce devrait continuer à fournir la part principale de la production. Les espèces principales seront probablement des poissons (et crustacés) herbivores ou omnivores, de valeur moindre mais qui se nourrissent aux niveaux inférieurs des chaînes alimentaires aquatiques.

Ces espèces seront élevées de plus en plus dans des systèmes de polyculture efficaces et respectueux de l'environnement, moins exigeants en intrants et largement intégrés dans les systèmes de production agricoles. Cette forme d'aquaculture continuera à fournir des quantités substantielles de protéines d'origine aquatique à une grande partie de la population des pays en développement et constituera, très probablement, le principal pôle de développement des productions à faible coût.

En termes de biodiversité piscicole utilisée à des fins d'aquaculture, le nombre d'espèces élevées a augmenté de 34 % entre 1984 et 1994. Cependant, la production de la pisciculture d'eau douce reste largement dominée par neuf espèces qui représentent 78 % de la production totale. Toutes ces espèces sont herbivores ou omnivores et se caractérisent par une chaîne alimentaire courte. En Amérique latine, dans les pays appartenant au bassin de l'Amazonie, le nombre d'espèces autochtones élevées est très faible, en dépit de l'existence d'un énorme potentiel de ressources génétiques. Deux tendances semblent émerger au début du troisième millénaire : la recherche d'une diversification des espèces élevées et le besoin d'amélioration génétique des animaux aquatiques domestiqués, qui sont encore fréquemment très proches de leurs formes sauvages.

Quelles seront les priorités dans le futur : l'accent sera-t-il mis sur l'amélioration génétique des espèces déjà élevées et pour lesquelles les technologies d'élevage sont déjà maîtrisées ou portera-t-il sur la domestication de nouvelles espèces d'intérêt aquicole parmi les 25 000 espèces de poissons peuplant le milieu naturel ? À moins que les deux orientations ne soient toutes les deux mises en œuvre.

La communauté scientifique qui travaille sur la question de l'aquaculture est limitée et doit choisir ses priorités, sachant que chacune des deux options est susceptible d'avoir des impacts négatifs :

- > l'amélioration génétique par le moyen de la modification du génome est perçue comme présentant un haut degré de risque pour les espèces sauvages, l'environnement global et les consommateurs ;
- > l'émergence d'espèces nouvellement domestiquées peut conduire à augmenter les introductions en dehors des aires d'origine, vers des pays souhaitant diversifier leur production, ce qui n'est pas sans risque pour les écosystèmes où sont réalisées les introductions.

Pour l'alimentation des poissons, la plupart des aliments disponibles dans le commerce pour les systèmes de production en étangs extensifs ou semi-intensifs sont *surformulés*, car ils ne prennent pas en compte le potentiel des aliments naturels disponibles. Aussi un travail de recherche très important doit-il être conduit pour comprendre les mécanismes biologiques qui aboutissent à la production piscicole au sein du réseau trophique, pour mieux définir les interactions entre les différents poissons de la polyculture et pour déterminer de manière plus précise la densité d'empeuplement. Ceci devrait permettre d'optimiser les apports d'intrants, de limiter les pertes d'aliment et l'impact sur l'environnement, de réduire les coûts de production et de maximiser les profits.

Sur le plan du développement durable, l'effort doit porter dans le futur sur les systèmes de production qui peuvent contribuer positivement à l'amélioration et à la préservation de l'environnement. Différents systèmes de production intégrés permettent le recyclage des éléments minéraux et des matières organiques ainsi que de différents types de déchets. Ils sont connus depuis longtemps pour leur respect de l'environnement. La rizipisciculture peut par exemple contribuer à réduire l'utilisation de pesticides dangereux pour l'environnement, et la pisciculture d'eau douce fertilisée par des eaux usées peut permettre de piéger les sels nutritifs produits en excès par les déjections d'élevage, les excréments, sous-produits agricoles ou autres déchets. L'aquaculture d'eau douce contribue de cette façon à réduire les risques d'eutrophication et de pollution, d'autant que les effets négatifs de l'aquaculture sur l'environnement ont surtout été associés à des systèmes intensifs à haut niveau d'intrants et à haut niveau de production.

Bibliographie

- BILLARD R.(ed), 1980. *La pisciculture en étang*, Paris, France : INRA, 434 pp.
- BILLARD R., 1995. *Les carpes : biologie et élevage*, Paris, France : INRA, 387 pp.
- DÉLINCÉ G., 1992. *The ecology of the fish pond ecosystem with special reference to Africa*. Kluwer Academic (Publ.), Dordrecht, Netherlands : 230 pp.
- EGNA H.S., BOYD C.E., 1997. *Dynamics of pond aquaculture*, Boca Raton, USA : CRC Press, 437 pp.
- FAO, 1997. *Review of the state of world aquaculture*. FAO Fisheries Circular. N°886, Rev. 1. Rome, Italy: FAO Inland water resources and aquaculture service, Fishery Resources Division.
- GUERRERO III R. D. (1987). *Tilapia farming in the Philippines*, Manila, Philippines : National Book Store, 85 pp.
- GUILLAUME J., KAUSHIK S., BERGOT P., METAILLER R., 1999. *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*, Paris, France : INRA/IFREMER, 489 pp.
- HARVEY B., CAROLSFELD J., 1993. *Induced breeding in tropical fish culture*, Ottawa, Canada : IRDC, 144 pp.
- HEPHER B., 1988. *Nutrition of pond fishes*, New York, USA : Cambridge University Press, 388 pp.
- Hepher B., Pruginin Y., 1990. *Commercial fish farming*, New York, USA : John Wiley & sons, 261 pp.
- JINGHRAN V.G., PULLIN R.S.V., 1985. *A hatchery manual for the common, Chinese and Indian major carps*, Manila, Philippines : ADB/ICLARM, 191 pp.
- LAZARD J., MORISSENS P., PARREL P., AGLINGLO C., ALI I., ROCHE P., 1990. *Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique*, Nogent sur Marne, France : CTFT-CIRAD, 82 pp.
- PCAMRD, 1990. *Integrated crop-livestock-fish farming systems*. Los Baños, Laguna, Philippines : PCAMRD.
- PULLIN R.S.V., LAZARD J., LEGENDRE M., AMON KOTHIAS J.B., PAULY D., 1996. *Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture*, Manila, Philippines : ICLARM/CIRAD-EMVT/ORSTOM/CRO. Proceedings of the international symposium on tilapia in aquaculture, 630 pp.

Les élevages non conventionnels

À partir des contributions de F. Brescia (CIRAD), P. Chardonnet (CIRAD), M. de Garine-Wichatitsky (CIRAD) et F. Jori (CIRAD)

Dans les pays du Sud, la forte croissance démographique et l'urbanisation galopante contribuent à une demande croissante et urgente en protéines animales. Un des grands défis de ce siècle est de satisfaire une telle demande, sans pour autant mettre en péril les milieux naturels et leur biodiversité.

La majorité de la biodiversité animale n'a pas été utilisée pour la production de protéines : parmi les 200 espèces de grands herbivores qui existent, à peine vingt espèces ont été domestiquées dans le but de produire de la viande. Le développement de l'élevage dans les pays tropicaux a été basé jusqu'à présent sur les animaux de rente traditionnels qui dominent la production animale mondiale : les bovins, les petits ruminants, le porc et les volailles.

La diffusion de ces espèces, très souvent importées, n'est pas toujours viable et se heurte, dans certaines régions, à des contraintes majeures d'adaptation à des milieux peu favorables à l'élevage ou aux hésitations des consommateurs vis-à-vis des espèces importées. C'est particulièrement vrai dans des zones infestées de maladies tropicales du bétail (cf. chapitre 66) ou dans des régions forestières tropicales disposant de peu d'espace pour les pâturages.

Il existe pourtant dans le monde plus de soixante espèces animales différentes, utilisées par l'homme comme source de protéines, de revenus ou d'énergie et qui pourraient être exploitées de façon plus rationnelle. Ces espèces sont connues sous le terme d'*espèces non conventionnelles* (ENC). Or, pour les populations locales qui les utilisent, ces ENC sont souvent beaucoup plus communes que la plupart des espèces domestiques, couramment décrites comme *conventionnelles* dans notre société.

L'exploitation de la faune remplace l'élevage d'espèces de rente dans plusieurs régions de la planète. Ce chapitre présente les principales espèces sauvages pour lesquelles il est intéressant de mener des programmes de développement, ainsi que les principales formes d'exploitation de ces espèces.

QUELQUES REPÈRES

● *Le potentiel*

Seulement 11 % des terres émergées sont favorables à la production agricole et 24 % à la production de pâturages et à l'élevage. Le restant (65 %) est constitué de zones arides, de forêts ou de zones inondées inaptées à l'élevage conventionnel.

La faune sauvage qui vit dans les milieux peu anthropisés, peut représenter une forme de production de protéines et permettre de valoriser ces zones dites marginales. Dans la ration alimentaire des peuples forestiers, les protéines proviennent souvent à plus de 80 % de la chasse et de la pêche. Malgré un exode rural marqué, ces habitudes alimentaires restent souvent ancrées dans les traditions populaires et alimentent une demande importante de gibier en ville, où il atteint souvent une valeur marchande considérable.

● **Les formes de production**

L'élevage de faune n'est pas une idée nouvelle. Le concept provient des pays anglophones d'Afrique australe, ce qui a rendu la terminologie anglophone prépondérante. Le terme *game ranching* considère les systèmes extensifs d'exploitation de la faune, où le peuplement, qu'il soit natif de la zone exploitée ou introduit, est confiné dans de grands espaces, en semi-liberté. Les animaux exploités utilisent l'écosystème selon sa capacité de charge naturelle.

Le *game farming* fait référence à des élevages monospécifiques, dans des conditions beaucoup plus intensives, où le cycle de production, et notamment l'alimentation et la reproduction, sont fortement contrôlés par l'homme. Dans le cas des espèces de petite taille, on parle de mini-élevage (*mini livestock* en anglais).

Le *game cropping* consiste à faire des prélèvements contrôlés sur les populations naturelles d'animaux sauvages qui sont en surplus, tout en garantissant leur viabilité et leur productivité à long terme.

● **La domestication**

Tous les animaux domestiques trouvent leur origine chez des espèces sauvages. L'adaptation des animaux sauvages à des conditions de captivité et à un manque de stimulation du milieu se traduit par une situation d'intolérance passagère souvent appelée *le stress d'adaptation*. Celui-ci est plus important chez les espèces proies comme les oiseaux, les rongeurs ou les ongulés, et peut parfois se manifester par des tentatives de fuite contre les parois des enclos, des traumatismes, de l'anorexie et une plus grande sensibilité aux infections.

Les animaux ayant un comportement grégaire et pouvant s'élever en groupe sont plus faciles à domestiquer, puisque les rapports psychosociaux et une plus grande activité sexuelle facilitent leur adaptation à la captivité.

On peut définir une espèce domestique comme un animal qui :

- > se reproduit sous contrôle de l'homme ;
- > tolère bien la présence humaine ;
- > a subi une phase de sélection génétique depuis plusieurs générations.

Il est important de ne pas confondre domestication et apprivoisement. Il existe dans les deux catégories d'animaux, sauvages et domestiques, des animaux farouches et dociles. Un taureau élevé en régime extensif sur des grandes surfaces est un animal domestique mais farouche qui peut être aussi dangereux qu'un lion apprivoisé. Cependant, la notion de docilité est une condition importante qui facilite la domestication en permettant une gestion facile des animaux.

● **Les différentes espèces non conventionnelles**

Mis à part leur taille et leur distribution géographique, les ENC peuvent être classées en fonction de leur état de domestication. En effet, toutes les ENC ne sont pas domestiquées. Certaines se reproduisent sous le contrôle de l'homme depuis l'antiquité tandis que d'autres sont utilisées à l'état complètement sauvage. Les types d'utilisation et les états de domestication permettent de différencier :

- > *les espèces sauvages*, utilisées à travers la chasse, le braconnage ou la cueillette. Il n'existe aucun contrôle de l'homme sur leur reproduction, leur alimentation ou leur degré d'utilisation ;
- > *les espèces domestiquées*, élevées sous le contrôle de l'homme depuis plusieurs générations, qui sont dociles et ont subi pendant des générations un processus de sélection génétique et d'adaptation à la captivité. C'est le cas du dromadaire, du cobaye ou du yack ;
- > *les espèces en voie de domestication*, espèces sauvages à l'origine élevées sous le contrôle de l'homme depuis quelques générations. Elles n'ont pas encore subi un processus complet de sélection génétique et d'adaptation à la vie captive. C'est le cas de la plupart des espèces traitées dans ce chapitre comme l'aulacode, l'escargot géant africain ou le cerf russa.

● **Les avantages de l'élevage d'espèces non conventionnelles**

La promotion de l'élevage d'ENC doit être analysée sous différents aspects, avant d'être intégrée dans une opération d'envergure. Les principaux avantages sont de différentes natures.

● **Les avantages écologiques**

Certaines espèces sont très bien adaptées à des niches écologiques spécifiques dans lesquelles les espèces conventionnelles sont peu productives. Elles peuvent utiliser des ressources alimentaires peu valorisables par les espèces de rente. L'élevage d'espèces forestières peut ainsi représenter une solution de remplacement à la déforestation des forêts tropicales pour produire des pâturages.

Par ailleurs, pour certaines espèces menacées, l'élevage devrait pouvoir réduire la pression sur les populations sauvages ou permettre de repeupler des aires surexploitées.

● **Les avantages techniques et scientifiques**

Même si ce n'est pas le but de leur élevage, la reproduction en captivité d'ENC permet une meilleure connaissance biologique et écologique d'espèces peu étudiées jusqu'à présent.

Le mini-élevage permet une bonne complémentarité, voire une synergie, avec d'autres systèmes de production animale ou végétale. Par exemple : élevage de cobayes – pisciculture – maraîchage.

● Les avantages économiques

Le mini-élevage, représenté par des unités de production à risque réduit (investissement limité ou revenu rapide), peut être intéressant pour des petits producteurs à faible revenu. L'élevage d'ENC bénéficie souvent par ailleurs d'une concurrence limitée avec l'alimentation humaine.

● Les avantages sanitaires

L'élevage de faune permet d'offrir au consommateur un produit de qualité supérieure, mieux contrôlé sanitaire que le gibier issu de la chasse. Les ENC sont souvent très rustiques et possèdent une plus grande résistance aux maladies et aux agents pathogènes locaux.

● Les freins au développement de l'élevage

Les contraintes qui limitent le développement de ces élevages sont également de natures variées.

● Les contraintes écologiques

L'introduction d'espèces en dehors de leur écosystème ne doit *jamais* être pratiquée. Celle-ci peut avoir des implications écologiques graves sur le milieu. Il faut donc cibler les espèces autochtones et éviter les importations et les introductions d'espèces allochtones.

L'élevage d'espèces menacées ayant une valeur économique peut faciliter une exploitation frauduleuse de l'espèce et nuire à sa survie, même si sa possession est généralement soumise à une autorisation gouvernementale préalable et à un contrôle.

● Les contraintes techniques

Dans le cadre de l'expérimentation de l'élevage de certaines espèces, le manque de données représente un frein à l'obtention de résultats rapides. La mise au point des techniques d'élevage spécifiques des différentes espèces est souvent très longue. Les animaux adultes capturés dans la nature sont par ailleurs souvent soumis à de fortes situations de stress. Il est beaucoup plus facile de démarrer avec des animaux nés en captivité.

Le manque de structures d'accompagnement (sanitaires, législatives, techniques) peut représenter une limite importante pour le développement d'une filière autour de l'élevage d'une ENC. Le transfert de technologie depuis l'expérimentation d'un élevage en station vers le milieu réel doit être reproductible avec des moyens et des matériaux locaux.

● Les contraintes économiques

Les statistiques officielles ignorent souvent l'importance des ENC comme ressource alimentaire, ou comme contribution à l'économie nationale. Il est d'autre part essentiel d'organiser les réseaux de commercialisation pour approvisionner de façon régulière les marchés les plus proches. La localisation des élevages est aussi un facteur clé.

La commercialisation dans des milieux où la faune est encore abondante est difficile à cause de la concurrence avec le gibier chassé.

● **Les contraintes sociales**

En général, la viande d'élevage d'ENC bénéficie d'une bonne acceptation. Les différences avec la viande de chasse dépendent de plusieurs facteurs autres que les conditions d'élevage : les conditions d'abattage et de dépeçage et le mode de conservation notamment.

Comme pour toute innovation technique, l'élevage d'ENC jusqu'à présent considérées comme sauvages a besoin d'un processus d'assimilation, non seulement au niveau des éleveurs et des consommateurs, mais aussi au niveau de toutes les catégories socio-professionnelles impliquées : acteurs intervenant dans la législation, la santé publique, l'abattage, la commercialisation etc.

Un obstacle important au développement de la production des ENC est que ces espèces sont en général peu ou mal connues et suscitent la réticence des bailleurs de fonds et la méfiance des cadres locaux vis-à-vis d'espèces qu'ils n'ont pas étudiées au cours de leur formation professionnelle.

● **Les contraintes sanitaires**

L'élevage d'ENC peut favoriser, du fait des nouvelles conditions de densité et de stress des animaux, l'apparition de maladies inconnues auparavant chez la même espèce en conditions naturelles. Certaines espèces sauvages peuvent aussi agir comme vecteurs ou réservoirs de maladies transmissibles à l'homme ou à d'autres animaux domestiques. Cela peut aussi limiter la diffusion ou l'acceptation de ces élevages dans certaines régions.

L'élevage d'ENC est donc un domaine très vaste, qui inclut un ensemble hétérogène de situations par la diversité des espèces animales concernées, seules ou en association avec d'autres espèces sauvages ou domestiques, et par la gamme élargie de ses produits : venaison, chasse aux trophées, vente d'animaux, tourisme de vision.

Les paragraphes qui suivent présentent plusieurs modèles d'exploitation d'espèces sauvages, en élevage extensif ou en élevage intensif de petites et grandes espèces.

LES ÉLEVAGES EXTENSIFS DE FAUNE : LE *GAME RANCHING*

● **Les objectifs de production**

Les objectifs de production du *game ranching* varient selon les contraintes et le contexte particulier à chaque ranch. Il est important que les objectifs soient clairement établis : types de production envisagés (venaison, chasse sportive, tourisme) et éventuellement part des activités du ranch consacrées à la faune par rapport au bétail. En fonction de ces objectifs, l'éleveur oriente la composition spécifique et la densité de la faune du ranch, et investit dans les infrastructures ou le recrutement de personnel adapté :

- > *pour la production de venaison*, il faut favoriser l'augmentation des densités en herbivores exploités dans les zones les plus favorables et investir dans les bâtiments nécessaires à l'abattage et la préparation de la viande¹ ;
- > *pour la chasse sportive ou la vente d'animaux vivants*, la production correspond à quelques individus d'espèces rares ou ayant un intérêt cynégétique particulier (ex. buffle, *Syncerus caffer*), dont la vente justifie les investissements consacrés aux structures et au personnel de safari², au marketing et aux aménagements destinés au maintien de ces espèces (gestion de l'habitat, lutte anti-braconnage) ;
- > *pour le tourisme de vision*, on recherche une diversité d'espèces aussi importante que possible et il est nécessaire d'investir dans des structures et du personnel pour l'accueil et les déplacements des visiteurs (campements, plates-formes, pistes praticables).

La principale motivation des éleveurs qui exploitent la faune est économique, ces activités permettant d'augmenter leurs revenus et de diversifier les types de productions sur des ranchs extensifs de bétail. Cependant, l'argument écologique peut être important, par une contribution à la conservation d'espèces et d'espaces naturels menacés ou par la limitation de la dégradation du milieu et de sa biodiversité.

● **L'établissement d'un ranch et la conduite de l'élevage**

L'établissement de l'élevage se fait après avoir confronté les objectifs de l'éleveur avec certaines contraintes, suite à une évaluation de la zone (habitat, populations animales). Il nécessite l'installation d'infrastructures adaptées.

● **Les contraintes sanitaires et réglementaires**

Les objectifs de production de l'exploitant peuvent se heurter à des contraintes réglementaires, notamment dans le domaine sanitaire : le buffle est une espèce particulièrement intéressante d'un point de vue cynégétique, mais l'Afrique centrale est exclue des zones potentielles d'élevage du fait de son rôle de réservoir pour la fièvre aphteuse et la théilériose (*Theileria parva lawrencei*).

¹ La productivité à l'hectare est supérieure avec plusieurs espèces différentes qui exploitent chacune une niche différente dans la surface considérée.

² Campements et prestation de haut de gamme pour les chasseurs étrangers, guides et pisteurs, etc.

L'abattage, le conditionnement et la vente de venaison sont soumis à des normes qui varient en fonction du marché concerné. Les viandes destinées à l'exportation sont soumises à des conditions d'hygiène très strictes et leur provenance doit être garantie (ex. zone indemne de fièvre aphteuse pour l'Union européenne).

Les activités de chasse ou d'accompagnement des touristes dans un cadre commercial sont soumises à la présence d'un guide habilité.

● Les contraintes environnementales et l'établissement d'un ranch

Un ranch de faune doit être géré avec la notion d'écosystème présente à l'esprit : un ensemble d'éléments biotiques (faune et flore) et abiotiques (sol, climat) interagissant. Les modifications opérées dans la composition spécifique et la densité des herbivores sauvages (ou domestiques) présents sur un ranch ont un impact sur la composition et la structure de la végétation, qui dépend elle-même des conditions édaphiques et des événements climatiques tels que la sécheresse.

● L'évaluation du potentiel de la zone

Le succès est étroitement lié aux potentialités :

- > *les ressources en eau* : il faut recenser les points d'eau en fin de saison sèche. Des points d'eau artificiels peuvent être aménagés selon les besoins des espèces et pour répartir la pression de pâturage sur différentes zones du ranch ;
- > *l'état du pâturage* : l'évaluation peut faire appel aux approches phytosociologiques classiques, notamment par l'utilisation des espèces indicatrices du stade de succession végétale et de l'intensité du pâturage (cf. chapitre 62). L'évaluation des fourrages ligneux (animaux brouteurs) demeure un exercice difficile et souvent empirique ;
- > *les populations animales existantes* : il existe de nombreuses techniques de comptage, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Le dénombrement exhaustif est parfois difficile, mais un suivi régulier de l'évolution des populations est indispensable. L'éleveur doit privilégier impérativement l'utilisation de la faune naturellement présente dans la zone.

● La capacité de charge du ranch et les prélèvements

Pour les élevages de faune, l'estimation de la capacité d'accueil est particulièrement délicate du fait de la diversité des espèces animales (souvent associées en peuplements plurispécifiques), et des types de végétation considérés (absence de données de référence).

On distingue trois types de régime alimentaire pour les ongulés :

- > *les pousseurs*, qui consomment principalement des végétaux herbacés (exemples : bovin et mouton domestique, buffle) ;
- > *les consommateurs sélectifs ou brouteurs*, qui consomment des plantes ou des parties de plantes nutritives autres que des graminées, et en général des ligneux (exemples : grand koudou *Tragelaphus strepsiceros*, guib harnaché *Tragelaphus scriptus*) ;
- > *les régimes intermédiaires*, qui alternent les deux types précédents (exemples : chèvre domestique, éland du Cap *Taurotragus oryx*, impala, springbok).

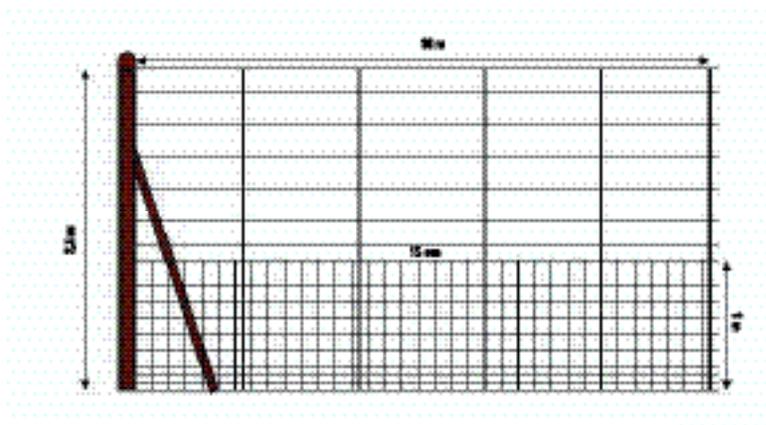
Plusieurs méthodes sont potentiellement utilisables pour calculer la capacité d'accueil, depuis les méthodes analytiques (reliant la production végétale à une charge potentielle en bétail, après conversion des espèces sauvages en UBT) aux méthodes manipulatives (exemple : réaction des populations animales à des modifications du niveau de prélèvement).

En pratique, l'expérience du gestionnaire sur la zone est primordiale dans le suivi de l'évolution du pâturage et de l'équilibre faune/végétation en relation avec le niveau de prélèvement réalisé.

● Les infrastructures et le matériel

● Les clôtures

Le type de clôture utilisé devra être adapté aux espèces présentes. Les clôtures à bétail classiques (barbelées ou non) limitent les mouvements de quelques rares espèces d'antilopes, mais la plupart les franchissent aisément. Certaines espèces sont capables de franchir des obstacles de plus de trois mètres de haut (impala, éland du Cap) ou de détruire les clôtures si elles ne sont pas protégées par des fils électriques (buffles, rhinocéros). En pratique, la clôture présentée en figure 1 peut servir de modèle de base.



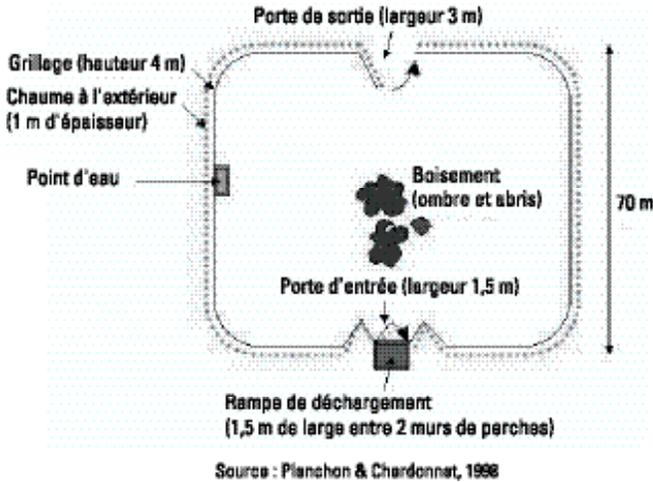
➤ Figure 1. Clôture pour élevage extensif (source : Fritz, Msellati et Chardonnet, 1998)

● Le boma³

Si des animaux sont réintroduits dans la zone, ils doivent passer par un enclos d'acclimatation. Leur séjour dans le *boma* (cf. figure 2) doit leur permettre :

- > de récupérer du stress lié à la capture et au transport (nourriture et eau sont disposés en quantité suffisante pour ne pas les déranger pendant quatre jours) ;
- > de se familiariser avec leur nouvel environnement (le chaume qui opacifie les murs de l'enclos est progressivement enlevé) et avec la présence humaine (entrée progressive). La durée totale du séjour dans le *boma* dépend des espèces et du savoir-faire de l'éleveur.

³ Terme africain signifiant «enclos».

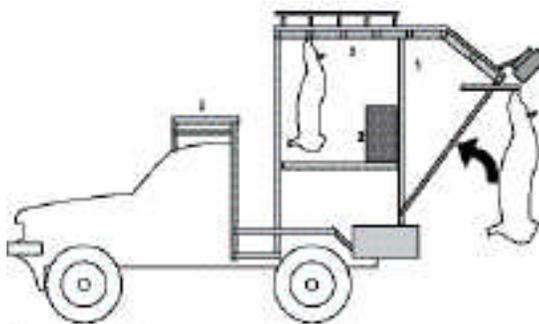


► Figure 2. Un enclos ou «boma»

● Les autres bâtiments et installations

Ils sont conçus en fonction des activités principales du ranch :

- > *tourisme et chasse sportive* : construction d'un campement, de plates-formes de vision, de camps de chasse ;
- > *venaison* : l'abattage au fusil est en général réalisé de nuit au projecteur. La saignée et l'éviscération devant avoir lieu le plus rapidement possible après l'abattage (délai maximum de 90 minutes), une boucherie mobile permet d'améliorer les conditions de ces opérations. Les bâtiments nécessaires à la préparation et au stockage ainsi qu'à la distribution de la viande doivent se conformer aux normes en vigueur dans le pays. Des autorisations sont en général requises pour pouvoir tuer les animaux la nuit avec des projecteurs.



Légende de l'illustration

- 1: cadre métallique fixé à un véhicule tout terrain
- 2: bacs en tôle émaillée de prothèse pour le stockage des carcasses
- 3: réservoirs de glace et bacs pour le stockage des viandes
- 4: rampe de projecteurs pour la saignée et l'éviscération
- 5: guérite pour le matériel et logement pour les bouchers lors des déplacements

Source: Féron, Sorlin et al. 1998

► Figure 3. Exemple de boucherie mobile utilisée pour l'abattage et la préparation d'impalas au Zimbabwe

● **La viabilité économique de l'élevage de faune**

Les élevages de faune se sont développés depuis une vingtaine d'années et il est difficile de tirer un bilan tant les situations et les productions sont variables.

● **La rentabilité des activités liées à la faune**

● **La chasse sportive**

C'est l'activité la plus rentable, surtout lorsqu'elle s'adresse à des clients étrangers et lorsque le ranch peut offrir des espèces prestigieuses d'un point de vue cynégétique. Elle nécessite des investissements, des coûts de fonctionnement et une logistique relativement importants, ainsi qu'un personnel qualifié.

● **La vente d'animaux vivants**

Elle peut, dans certaines circonstances, atteindre une rentabilité équivalente à la chasse sportive avec des investissements plus limités (absences d'infrastructures de safari). Les marchés les plus lucratifs sont cependant limités à quelques espèces très recherchées (espèces localement rares) ou à des individus ayant un statut particulier (ex. buffles indemnes de fièvre aphteuse) ; les marchés sont donc très étroits et susceptibles d'être rapidement saturés.

● **La vente de venaison**

C'est en général une activité secondaire, mais elle peut être développée lorsque des marchés locaux existent (circuits de restauration ou forte demande locale) ; elle permet de valoriser des infrastructures existantes pour le bétail (salle d'abattage, boucherie).

● **Le tourisme**

Ce secteur d'activité est en général peu développé dans les exploitations existantes. Potentiellement intéressant, il est fondé sur un marché concurrentiel par rapport auquel il doit faire valoir son originalité (exemple : parcs nationaux), et fait appel à un personnel et à des démarches particulières (marketing, etc.).

● **La rentabilité de la faune et du bétail**

Il est souvent difficile de faire la part des activités de faune et de bétail dans le revenu des élevages mixtes. Ceux-ci permettent de cumuler les avantages des deux systèmes. L'exploitation de la faune est particulièrement intéressante dans des zones défavorables à l'agriculture ou à l'élevage traditionnel. Mis à part un impact positif sur l'environnement, elle représente une diversification des productions par rapport au bétail.

LE MINI-ÉLEVAGE

On comprend par ce terme l'élevage d'espèces sauvages de petite taille, tant invertébrés (annélides, mollusques, insectes, chenilles, papillons) que vertébrés (oiseaux, rongeurs, grenouilles, reptiles), qui sont d'usage commun pour l'alimentation humaine ou animale ou comme source de revenus, et dont le potentiel n'est pas encore totalement exploité.

On présente ci-dessous, deux espèces de mini-élevage les mieux maîtrisées en Afrique : les escargots africains et l'aulacode, rongeur préféré dans toute l'Afrique francophone.

● L'élevage d'escargots géants africains⁴

L'utilisation des invertébrés comme source de protéines pour l'homme ou les animaux est commune dans plusieurs parties du monde. Plusieurs espèces d'insectes, mollusques ou annélides font aujourd'hui l'objet d'une production contrôlée par l'homme.

Un des cas les plus développés en milieu tropical est celui des escargots géants africains, que l'on connaît sous le terme d'*achatinés*. La consommation de ces mollusques fait partie de la gastronomie ouest-africaine. Malgré quelques interdits et tabous, ces animaux font partie des viandes sauvages appréciées, et leur taux de consommation est particulièrement élevé en Afrique de l'Ouest.

● Les bases de l'élevage

Les connaissances de base sur la biologie, l'écologie et la physiologie des escargots tropicaux restent incomplètes. Des lacunes zootechniques persistent et sont liées à l'application irrationnelle aux escargots géants de techniques d'élevage élaborées pour les escargots européens *Helicidae*. Il existe principalement trois espèces d'escargots africains dont l'élevage est relativement maîtrisé (cf. le tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques biologiques des principaux escargots géants africains

Espèce	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Achatina achatina</i>	<i>Achatina fulica</i>
Taille coquille adulte (cm)	8-12	8-12	6-8
Poids adulte (g)	250-350	100-200	80-150
Temps d'incubation (jours)	22-30	12-15	7-10
Nb pontes/an	4-8	1-2	1-2
Taille ponte (nombre d'œufs)	6-12	100-400	100-600

● La reproduction et la croissance

Bien que l'escargot soit hermaphrodite, l'accouplement est nécessaire à la reproduction, l'animal fonctionnant alternativement comme mâle ou femelle. Les escargots se reproduisent au moyen d'œufs à coquille calcaire dure. Ils pondent leurs œufs dans un nid creusé, mais parfois à même le sol. Le jeune escargot, déjà muni d'une coquille et à peine plus grand que l'œuf dont il provient, séjourne quelques jours dans le nid avant d'aller vivre à l'extérieur.

⁴ Achatiniculture.

Le cycle biologique est long en conditions climatiques non contrôlées. En élevage, l'âge de la première ponte se situe de dix-huit mois à deux ans pour le géant *A. achatina*. *A. fulica* est plus précoce et boucle son cycle de vie en cinq mois et demi. Les escargots du genre *Achatina* semblent pouvoir indéfiniment agrandir leur squelette.

● **L'alimentation**

Les escargots géants africains sont végétariens, mais du cannibalisme sur des sujets moribonds est connu. Ils consomment les feuilles de nombreuses plantes : taro, patate douce, manioc, laitues ainsi que des fruits et des sous-produits agricoles. Les préférences alimentaires semblent varier avec l'âge et la taille des animaux. Le calcium joue un rôle fondamental dans la physiologie et la croissance (la coquille représente 30 % du poids corporel). Une source calcique assimilable sous une forme non pulvérulente (craie d'écolier, kaolin, coquilles d'huîtres ou d'œufs) couvre correctement leurs besoins.

● **Les modes d'élevage sous les tropiques**

La mise en élevage d'espèces locales peut être envisagée selon des systèmes extensifs (escargots au pâturage) ou intensifs (fosses à escargots).

● **La préparation du site de l'escargotière**

Les sols très acides sont à proscrire. Le lieu doit être suffisamment aéré, avec une source d'eau à proximité. Il doit être défriché en respectant les espèces végétales utiles à l'exploitation (ombrage, abris des vents dominants et des poussières). La surface doit être désinfectée de préférence par brûlis. Un bêchage ou un labour du sol à une profondeur de 20 à 40 cm permet de l'ameublir. S'il est pauvre en calcium, il doit être amendé par adjonction de chaux. Il reste alors à implanter les enceintes des escargotières (suivant l'infrastructure choisie) et à procéder au développement d'une couverture végétale.

● **L'infrastructure d'élevage**

- > *Les enclos à escargots* : de simples boîtes en bois non traité peuvent convenir, mais l'idéal est de pratiquer l'élevage dans des enclos de 10 m x 2 m qui comportent chacun des murets en briques de terre ou de ciment s'élevant jusqu'à 50 cm de hauteur. Un couvercle amovible grillagé de toile moustiquaire est placé sur la face supérieure de l'enceinte. Le fond est garni d'une épaisseur de 20 à 40 cm de terre meuble, recouverte d'une litière de feuilles (teck, manguiers, cacaoyer). Un grillage métallique enfoui sous l'escargotière peut convenir comme dispositif contre les prédateurs souterrains. De la cendre étalée autour de l'enceinte d'élevage limite l'entrée des limaces ; une large rigole autour de l'élevage, remplie en permanence de liquide peut bloquer les fourmis carnivores prédatrices. Une couverture végétale de sous-bois est recommandée, et peut être complétée par un abri sous toit de paille ou de feuilles de bananiers. En revanche les toits en tôle sont à proscrire.
- > *Les escargots au pâturage* : ce mode d'élevage est réalisé dans des enclos à ciel ouvert, dont le sol est garni d'une végétation abondante, composée d'espèces végétales bien appréciées par les mollusques : taro, amarante, patate douce, manioc, laitues, etc.

● **L'entretien**

Dans le système intensif, l'entretien est composé de l'arrosage quotidien, du retrait des aliments en voie de décomposition, du lavage des abreuvoirs et des mangeoires et de leur approvisionnement. Pour maintenir les fosses saines, des vers de terreau (*Eisenia fetida* ou *Eudrilus eugeniae*) peuvent être incorporés au substrat d'élevage. Leur présence semble cependant nuire à l'incubation des œufs sur les sites de ponte.

Dans le cas des *escargots au pâturage*, la végétation du parc procure aux animaux un microclimat humide en dehors des heures d'ensoleillement et un abri efficace durant les heures chaudes de la journée. Ainsi, il n'est pas indispensable d'arroser quotidiennement les enclos, sauf à deux occasions : pendant les premières semaines après l'introduction des géniteurs dans le parc et lorsque les pluies naturelles ne permettent pas une croissance végétale adaptée à la demande des escargots. L'arrosage vise à garder le sol humide, mais pas trempé.

● **L'approvisionnement en reproducteurs**

Pour développer un élevage, il faut éviter d'acheter des géniteurs sur le marché. Il est plus sage de démarrer avec des individus sains et si possible adultes qui peuvent être trouvés directement dans la nature ou auprès d'un éleveur ou un centre spécialisé. Lors de la capture, il ne faut retenir que les individus en bon état, et s'assurer qu'ils ne présentent pas d'anomalies coquillières graves. Il est préférable de les prendre tous de la même espèce et de la même taille. L'approvisionnement doit se faire de la manière la moins stressante possible. Les géniteurs doivent être introduits dans l'escargotière en début de soirée et être arrosés légèrement. Au lever du jour, il faut veiller à abriter les escargots qui ne le feraient pas spontanément.

● **Les principales contraintes en élevage**

- > *La gestion de la croissance* : des troubles de la croissance existent, même chez les animaux correctement nourris. Les escargots soumis à des conditions d'élevage stressantes présentent une production coquillière lente et de mauvaise qualité, ainsi que des anomalies de la reproduction. En élevage, en plus d'une alimentation adéquate, il est préconisé de limiter le stress des animaux (réduire la manipulation des animaux, contrôler les densités d'élevage). C'est la taille à la maturité sexuelle ou la taille à l'apparition de la bordure coquillière qui sert de point de repère pour vérifier la qualité de l'élevage.
- > *L'incubation des œufs* : les incubations sont possibles sur le site de ponte ou sur des pots d'incubation éloignés de celui-ci. Les œufs doivent être placés en ambiance humide, dans du terreau à 60-65 % de teneur en eau ou entre du film de papier absorbant imbibé d'eau garnissant le fond d'une boîte de Pétri close. Il est important de permettre aux géniteurs d'enfouir leurs œufs dans le substrat d'élevage afin d'éviter toute déshydratation au contact de l'air non saturé en eau. Il est recommandé d'éviter le contact entre géniteurs et œufs en incubation, ainsi que leur manipulation. Retirer les premiers éclos des pontes permet de maintenir de bons taux d'éclosion.
- > *La pathologie* : la connaissance des maladies infectieuses et parasitaires des escargots géants africains est actuellement faible. Il est donc recommandé de respecter les règles élémentaires d'hygiène dans les élevages.

● La valorisation d'une production d'escargots géants africains

● La consommation animale et humaine

La chair de l'escargot géant possède une excellente valeur nutritive. La teneur en protéines est supérieure à 40 %, celle en lipides est de moins de 3 % et elle constitue une excellente source de macro-éléments (fer, calcium, phosphore, magnésium, potassium et sodium).

L'utilisation d'escargots en alimentation animale est encore peu étudiée. Les escargots séchés au soleil et broyés représentent un excellent substitut aux farines importées de poisson ou de viande. Les porcs les consomment vivants avec leur coquille : les escargots non commercialisables peuvent donc être utilisés à cette fin. Les déchets de préparation (hépatopancréas) sont aussi valorisables comme aliment pour les porcs, volailles ou poissons.

● Les risques agricoles et humains

Achatina fulica, originaire de l'Est africain jusqu'à Madagascar, a été introduit dans de nombreux pays de l'Océan indien, du Sud-Est asiatique et de l'Océanie. Il constitue une plaie pour les cultures vivrières et pour les espèces locales d'escargots qu'il supprime rapidement ; son éradication s'avère parfois très difficile.

La consommation d'escargots géants africains sauvages pourrait conduire à des infections chez l'homme si la cuisson a été insuffisante ou absente. Il est par exemple le principal vecteur du nématode *Angiostrongylus cantonensis*, pouvant produire chez l'homme une méningoencéphalite. Par contre les escargots en conserve ne semblent présenter aucun danger si le procédé de mise en conserve se fait correctement.

● L'élevage de l'aulacode⁵

Il existe une grande diversité de rongeurs, très prisés par leur viande tant en Afrique que sur le continent américain. Parmi les rongeurs consommés en Afrique, l'aulacode est sans doute l'espèce préférée. Il s'agit d'un rongeur hystricomorphe de la même famille que le cobaye. On connaît deux espèces de ce rongeur : le grand aulacode (*Thryonomys swinderianus*) et le petit aulacode (*T. gregorianus*). Cependant, la totalité des recherches et activités d'élevage se sont développées avec *T. swinderianus*. Appelé *agouti* en Afrique de l'Ouest et *hérisson* en Afrique centrale, son aire de distribution comprend toute l'Afrique sub-saharienne au delà du 15° Nord jusqu'à la Zambie et la partie est de l'Afrique du Sud.

● Les infrastructures d'élevage

Les aulacodes peuvent être élevés en cage ou en enclos au sol.

● Les cages individuelles

Les cages peuvent être de dimensions variables, en fonction de leur objectif (cage individuelle, accouplement, lot d'engraissement). Le tableau 2 propose quelques mesures pour les concevoir. La hauteur des cages doit être au maximum de 40 cm afin de limiter les bonds chez les animaux craintifs.

⁵ *Thryonomys swinderianus*.

Les matériaux utilisables sont variés mais ils doivent pouvoir résister aux dents des aulacodes. L'armature peut être en bois ou en acier. Dans le cas du bois, l'intérieur doit être protégé avec du grillage ou de la tôle. De même, le grillage utilisé doit avoir une maille carrée d'un minimum de 2,5 cm de côté et un fil de 1,8 mm de diamètre.

● Les batteries de cages

Elles sont utiles pour mieux profiter de l'espace d'élevage disponible. Cependant, elles rendent plus difficile la surveillance des animaux et se dégradent facilement. Elles peuvent comprendre jusqu'à trois niveaux, séparés par des plaques inclinées en bois ou en tôle pour récupérer les déjections.

● Les enclos hors-sol

Ils sont de forme rectangulaire et doivent avoir une surface de 3 m² pour pouvoir loger un groupe polygame ou plusieurs jeunes. La hauteur des côtés doit être supérieure à un mètre avec un rebord intérieur de 25 cm pour éviter les fuites. Les enclos sont conçus pour loger des animaux, soit un groupe polygame (un mâle et huit femelles), soit jusqu'à vingt quatre animaux subadultes, soit un groupe de femelles avec leurs petits. Ils peuvent être construits avec du ciment, de l'argile ou des matériaux locaux. Ils sont moins coûteux que les cages et plus faciles à construire, mais en revanche les risques d'infestation et d'infection sont plus élevés.

Tableau 2. Dimensions recommandées pour la construction de cages d'élevage d'aulacodes (d'après Adjanohoun, 1988)

Type de cage	Cage individuelle		Cage d'accouplement	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Largeur	35 cm	55 cm	40 cm	65 cm
Longueur	55 cm	70 cm	70 cm	100 cm
Hauteur	25 cm	30 cm	30 cm	35-40 cm
Répartition des animaux	- un adulte seul - une mère avec maximum 2 petits en lactation		- deux animaux subadultes - un mâle avec deux femelles - une mère avec plus de 2 petits en lactation.	

● L'alimentation

La formule dentaire de l'aulacode est la même que celle d'autres rongeurs hystricomorphes : II + OC + 2 M / II + OC + 2M. C'est un très bon convertisseur de fibre en protéine qui, comme le lapin, pratique la coprophagie. L'anatomie particulière de l'appareil digestif permet de réaliser dans le caecum une digestion microbienne comparable à celle des ruminants, grâce à sa grande capacité et à sa grande surface de fermentation et d'absorption.

La ration alimentaire se base à 80 % sur du fourrage vert de graminées sauvages ou cultivées comme *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum*, *Brachiaria* spp., *Hyparrhenia diplandra* ou *Imperata cylindrica*. Le restant peut être constitué par une vaste gamme de produits dérivés de l'industrie agricole ou alimentaire, comme le son de blé, la drêche de brasserie, les restes de boulangerie, les céréales, les feuilles d'ananas ou le riz cru.

Chaque animal adulte consomme environ 300 g de fourrage/jour et 100 g de complément avec 20 % de protéine. Malgré l'eau présente dans le fourrage, 100 ml d'eau par jour sont aussi nécessaires.

● **La croissance**

Avec un poids moyen de 130 g, les jeunes naissent avec toutes leurs dents, des poils et consomment de l'aliment solide dès les premiers jours de vie. La croissance est plus importante chez les mâles que les femelles ; la différence de poids entre les sexes s'avère supérieure à un kilo pour des animaux du même âge. La castration des mâles ne favorise pas une meilleure croissance. Avec une bonne alimentation, les mâles atteignent en moyenne à un an plus de 3 kg de poids vif.

● **La reproduction**

● **Le sexage**

Les testicules des mâles sont facilement reconnaissables à partir de quatre mois par un noircissement du scrotum. Avant cet âge, le sexe des aulacodeaux peut être déterminé en mesurant la distance ano-génitale entre l'orifice urétral et l'anus. Celle-ci est plus de deux fois plus longue chez les mâles que chez les femelles. La femelle atteint la maturité sexuelle à l'âge de quatre mois et le mâle à cinq ou six mois. Les animaux peuvent se reproduire pendant toute l'année et la libido est constante chez le mâle.

● **Le cycle sexuel**

Chez la femelle, on distingue une période de repos sexuel ou anoestrus et une phase d'activité avec trois phases différentes dont l'intensité varie en fonction des individus : le præstrus, le metæstrus et le postæstrus. L'apparition de l'œstrus est principalement déclenchée par des facteurs d'environnement et de conduite de l'élevage, et par la cour du mâle qui est accompagnée d'une certaine agressivité. Il convient donc de surveiller les accouplements pour éviter des blessures graves. La saillie ne peut avoir lieu qu'à ce moment-là. Au cas où elle n'a pas lieu, la femelle évolue vers un autre œstrus ou l'anoestrus.

● **L'accouplement**

Pour réussir une bonne saillie, on recommande que le poids du mâle soit supérieur à celui de la femelle. Un mâle un peu agressif donne souvent de bons résultats de fécondité. Cependant, il convient de surveiller les accouplements pour éviter des excès d'agressivité. Le premier accouplement est recommandé à 1 500 g chez les femelles et à 1 600 g chez les mâles. Dans des groupes polygames, un mâle peut s'accoupler avec sept ou huit femelles. Afin d'éviter des bagarres au moment de la constitution de nouveaux groupes il convient de respecter certaines normes :

- > emmener toujours le mâle chez les femelles ;
- > déplacer de préférence les animaux d'origines différentes dans un enclos neutre ;
- > en cas de maintien de groupes stables de femelles, déplacer toujours le groupe le plus nombreux dans les installations d'un groupe moins nombreux.

● La gestation

Elle dure 152 jours en moyenne. Elle peut être facilement identifiée six semaines après la conception, par l'introduction d'un coton tige dans la vulve, après déchirure de la membrane vaginale. L'observation d'un mucus rouge, marron ou jaune est indicatif de gestation dans 80 % des cas. L'observation d'un mucus blanc n'est pas toujours indicatif de non gestation. Il convient donc de retester les femelles susceptibles de concevoir tous les dix jours, cinq semaines après la mise au mâle.

Tableau 3. Paramètres zootechniques de reproduction chez l'aulacode

Durée de gestation	152 jours
Sex ratio à la naissance	1 : 1
Intervalle entre mises bas	211 jours
Poids à la naissance	129 ± 25 g
Taille moyenne de la portée	4 ± 1.2
Taux de fertilité	85 %
Taux d'avortement	1 %
Taux de mortalité	1,5 %
Âge optimal de sevrage	6 semaines
Poids au sevrage	492 ± 118 g
Taux de mortalité au sevrage	11 %

Source : SCHRAGE & YEWADAN, 1995.

● La conduite de l'élevage

Il est fortement recommandé de commencer une activité d'élevage d'aulacodes à partir d'un cheptel d'animaux déjà adaptés à la captivité. Le démarrage avec des animaux d'origine sauvage est difficile en raison du stress d'adaptation à la vie captive. Dans tous les cas, les animaux jeunes s'adaptent mieux à la captivité que les animaux adultes. Les opérations de routine dans un élevage d'aulacodes sont les suivantes :

- > *inspection et contrôle du cheptel* : cette activité est réalisée chaque matin et consiste à observer attentivement le cheptel afin de repérer des anomalies éventuelles. Il faut séparer les animaux malades du groupe dans une cage de quarantaine, afin de prévenir les contagions possibles et d'effectuer le traitement. Les cadavres doivent être soumis à une autopsie ou brûlés ;
- > *changement de la litière* : on recommande cette activité tous les jours ;
- > *désinfection du matériel d'élevage* : pour réduire la charge microbienne dans le bâtiment et les matériaux, on recommande la désinfection au moins deux fois par mois ;
- > *distribution de l'aliment* : la distribution du fourrage doit se faire tôt le matin et si possible à la même heure. Afin de limiter le gaspillage du granulé ou du concentré, la distribution est recommandée après la consommation du fourrage. Une seconde distribution est souhaitable en fin de journée ;
- > *l'enregistrement et le suivi des performances zootechniques* : les pesées des animaux peuvent se faire tous les mois à l'aide d'une cage de contention.

Le marquage des animaux permet de mieux gérer le cheptel d'un point de vue génétique et reproductif. Celui-ci peut se faire avec des boucles d'oreilles utilisées pour les animaux de laboratoire. Une méthode plus adaptée au contexte local est de faire des encoches sur les oreilles avec une pince perforatrice.

À partir du sevrage, qui se fait à huit semaines, on peut constituer des lots de mâles et de femelles du même âge qui peuvent être élevés ensemble en cage ou en enclos (*feed-lots*). Les lots peuvent constituer de futurs lots de femelles reproductrices pour le troupeau ou pour la vente de géniteurs à l'extérieur. À partir de la puberté, les mâles ne peuvent plus rester ensemble s'ils ne sont pas castrés.

Les aulacodes sont très facilement commercialisés en Afrique de l'Ouest et centrale. Souvent les consommateurs viennent acheter des animaux vivants directement chez l'éleveur. Il est préférable d'égorger les animaux sur le lieu d'élevage afin d'éviter la perte de poids produite par le stress du transport. Le rendement en carcasse est au moins de 65 % du poids vif.

● La pathologie

La principale cause de mortalité non infectieuse chez l'aulacode est le stress qu'il faut essayer de minimiser. Une cachette dans les enclos ou les cages permet aux animaux de se sentir davantage en sécurité. Dans des cas extrêmes, les neuroleptiques comme l'halopéridol 0,4 mg/kg (Haldol®) ou le chlorhydrate de pipothiazine à 25 mg/kg (Piportil Depot®) permettent de réduire l'anxiété et la panique et peuvent être utiles pour réduire le stress et la mortalité pendant le transport et l'adaptation d'animaux à un nouvel environnement. Lors de leur utilisation, aucun effet résiduel n'a pu être constaté sur l'homme.

Les pathologies respiratoires et les septicémies sont des causes importantes de mortalité infectieuse, surtout chez les animaux jeunes pendant les jours ou semaines qui suivent le sevrage. Il peut être utile de distribuer des vitamines et des antibiotiques à doses préventives dans l'eau de boisson pendant cette période.

Les pathologies digestives sont marquées par des problèmes dentaires et des entérotoxémies. Les premiers peuvent se résoudre facilement en ajoutant des bois durs ou des os de grande taille dans les enclos ou les cages, afin que les animaux puissent ronger. Les entérotoxémies, accompagnées de diarrhée et mort subite, peuvent provoquer des mortalités importantes. On recommande de faire sécher le fourrage pendant 24 heures avant sa distribution et de faire des analyses bactériologiques qui permettent ensuite d'identifier et de traiter efficacement l'agent infectieux.

● Le programme prophylactique

L'aulacode est un animal rustique qui présente peu de problèmes pathologiques une fois qu'il est bien adapté à son milieu de production et que les conditions d'hygiène et d'alimentation sont respectées.

● La prophylaxie sanitaire

Elle est identique à celle des autres productions animales intensives : entretenir un environnement sain, avec une bonne ventilation et une désinfection fréquente (par exemple tous les dix jours). Une quarantaine de trois à quatre semaines est recommandée pour les animaux de nouvelle acquisition, avant de les introduire dans

un élevage. Des campagnes périodiques de dératissage peuvent être nécessaires pour réduire les effectifs d'autres rongeurs sauvages et limiter la transmission de maladies au cheptel. Pour réduire la charge parasitaire du fourrage, il est recommandé de l'exposer au moins vingt quatre heures au soleil après la coupe.

● La prophylaxie médicale

Chez l'aulacode, celle-ci se limite à un déparasitage avec vermifuge tous les six mois (une dose de 20 mg/kg de Fembendazol 2,5 % pour les cestodes et du tartrate de pyrantel à 5 % à une dose de 200-250 mg /kg pour les nématodes). L'administration se fait par voie orale, l'animal étant immobilisé dans une cage de contention. Les parasites externes peuvent être traités avec de l'Ivermectine (0,1 mg/kg) ou des bains déparasitants. Devant l'apparition de foyers d'entérotaxémie, on recommande une vaccination régulière par un vaccin polyvalent contre plusieurs types de *Clostridium* (Covexin/8®).

● La manipulation et la contention

Les cages de contention permettent de faire de petites manipulations : pesées, traitements, transports entre cages ou enclos. Elles doivent être de forme sécurisante, tant pour l'animal que pour le manipulateur. Les cages peuvent se construire en grillage ou à l'aide de matériaux recyclables. Elles sont conçues pour empêcher l'aulacode de se retourner, et les dimensions s'adaptent aux différentes tailles des animaux. L'utilisation d'une cage trop grande, permettant à l'animal de se retourner, peut lui occasionner des blessures graves de la colonne vertébrale. Les dimensions des cages de contention sont données au tableau 4.

Tableau 4. Dimensions des cages de contention

Poids de l'animal	Dimensions
> 5 kilos	14 cm x 14 cm x 38 cm
Entre 3 et 5 kilos	13 cm x 13 cm x 32 cm
Entre 1 et 3 kilos	10 cm x 10 cm x 30 cm

Source : SCHRAGE & YEWADAN, 1995.

● Méthode de diffusion de l'aulacodiculture

L'aulacodiculture séduit de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest et centrale. Cependant, un développement autonome et anarchique de cette activité conduit souvent à l'échec ; une structure de suivi et d'accompagnement des éleveurs est nécessaire la plupart du temps. L'idéal pour développer cette activité dans une région est d'initier une unité de production d'aulacodes à partir d'animaux adaptés à la captivité. Cette unité, qui doit être gérée par des personnes habituées à manipuler ces animaux, peut remplir trois grands rôles :

- > elle sert d'unité de démonstration pour les personnes intéressées ;
- > elle permet de former les futurs aulacodiculteurs ;
- > elle fournit les candidats-éleveurs en géniteurs adaptés à la captivité.

Le succès d'un tel projet ne dépend pas uniquement des aspects techniques, mais également de la qualité du transfert de technologie et des conditions socio-économiques de la région choisie.

LES AUTRES ÉLEVAGES INTENSIFS

Les élevages monospécifiques de grandes espèces (reptiles, oiseaux ou mammifères) font aussi l'objet d'un développement progressif et constituent une alternative à la production des espèces domestiques classiques. C'est le cas de l'élevage du crocodile du Nil et de l'autruche en Afrique ou du cerf Russa en Asie du Sud-Est et le Pacifique.

● **L'élevage de crocodiles**

L'élevage de crocodiles n'est plus véritablement *non conventionnel*. Il devient de plus en plus commun dans le monde et ces reptiles sont élevés sur les cinq continents. La classe *Crocodylia* est divisée en crocodiles, caïmans, alligators et gavials. On retrouve au total vingt trois espèces de crocodiles, dont trois sur le continent africain : le crocodile du Nil (*Crocodylus niloticus*), le faux gavial (*Crocodylus tetraspis*) et le crocodile nain (*Osteolaemus tetraspis*). Biologiquement, ce sont des reptiles très bien adaptés à la vie aquatique. Le trait le plus caractéristique de leur anatomie est une peau cuirassée constituée dans sa partie dorsale de plaques ossifiées appelées ostéodermes. Le crocodile du Nil est l'espèce dont l'élevage est le plus répandu en Afrique. Les mâles peuvent mesurer plus de 3 m et les femelles entre 2,4 et 2,8 m.

● **Les types d'élevage**

On distingue deux modalités d'exploitation : l'élevage intensif ou *farming* et l'élevage extensif ou *ranching*.

● **L'élevage extensif ou ranching**

Il s'agit de la production d'animaux à partir d'œufs récoltés dans la nature et couvés en captivité. L'idéal est de récolter les œufs juste après la ponte pour les placer dans un environnement contrôlé. En pratique, les œufs sont récoltés après cinquante à soixante jours d'incubation, moment où l'on peut les transporter sans provoquer trop de mortalité embryonnaire. La couvaison artificielle des œufs peut se faire selon deux méthodes principales :

- > *le nid artificiel* : les œufs sont placés dans du sable humide ou sur un substrat similaire comme la vermiculite. La température dépend entièrement de la chaleur solaire. Les nids doivent être protégés contre de possibles déprédations à l'aide de barrières. L'éclosion peut être repérée par le bruit caractéristique des petits ;
- > *la boîte de couvaison* : il s'agit d'un récipient thermo-isolé rempli de sable, ou de vermiculite où l'on enterre les œufs. Ceux-ci sont couvés dans une couveuse maintenue à 30-32°C avec une humidité variant entre 60 et 100 %. La température détermine le sexe des nouveaux nés : les températures inférieures à 31°C donnent des femelles, et des mâles sont obtenus entre 31 et 34°C.

Les éleveurs pratiquant le *ranching* doivent obtenir auprès des services de protection de la faune l'autorisation de prélever des œufs sur le stock sauvage, généralement situé dans une aire protégée. Ils s'engagent à replacer dans le parc un certain nombre de crocodiles, à un âge auquel on considère qu'ils sont à l'abri de la plupart des causes de mortalité (maladies et prédateurs). Ces réintroductions représentent généralement un effectif plus important de crocodiles que celui qui aurait survécu dans le milieu naturel. L'élevage extensif de crocodiles représente donc un moyen de protection et de repeuplement efficace pour les populations sauvages ; il permet non seulement de maintenir les effectifs, mais même de les accroître.

● **L'élevage intensif ou farming**

Les animaux sont élevés dans des enclos, qui contiennent d'une part une aire de ponte et d'autre part un espace aquatique. Ce dernier peut consister soit en un plan d'eau naturel, soit en un bassin artificiel. Le sex-ratio des reproducteurs est de sept à dix femelles pour un mâle. Les mâles étant territoriaux, chacun d'eux doit disposer d'un enclos et d'un bassin.

Les femelles doivent disposer d'une aire de ponte sablonneuse. Celle-ci peut être unique et étendue, ou divisée en autant de cases qu'il y a de femelles par des murets de 50 cm de hauteur sur trois côtés. Ces cases individuelles font environ 200 x 75 cm. Les enclos sont constitués d'un grillage de 2 m de hauteur et s'enfoncent à une profondeur de 1 m pour éviter des fuites. Ils doivent impérativement disposer à la fois d'une aire ensoleillée et d'une aire ombragée.

Les formes et les dimensions des bassins sont très variables, mais un type de bassin pour géniteurs se rencontre de plus en plus souvent dans les élevages nouvellement construits. C'est un bassin en béton, rectangulaire au niveau du sol, d'environ 6 m x 8 m, avec un faux plat d'environ 75 cm de large permettant aux crocodiles de s'y reposer, ce faux plat est suivi d'une pente. La profondeur du bassin est d'environ 2,5 m. Il est entouré d'une surface en terre d'environ 40 m².

Le *farming* implique que les animaux élevés soient issus d'animaux géniteurs maintenus en captivité. Généralement, les éleveurs commencent par faire du *ranching* et constituent progressivement leur stock de géniteurs. Souvent, les deux systèmes sont utilisés en parallèle, le stock de géniteurs ne fournissant alors qu'une partie des jeunes élevés.

● **L'alimentation et la croissance**

L'eau du bassin est changée une ou deux fois par an. Les jeunes animaux se nourrissent essentiellement d'insectes. Au fur et à mesure qu'ils grandissent, ils consomment des vertébrés (des déchets d'abattoir ou des viandes de rebut). La distribution de la viande se fait le soir et les restes non consommés doivent être récupérés le matin. Les animaux adultes ont besoin de manger seulement une fois tous les quinze jours, les subadultes une fois par semaine et les jeunes de moins d'un an deux fois par semaine. La croissance est généralement lente. Le tableau 5 donne une idée de la taille en fonction de l'âge.

Tableau 5. Croissance en fonction de l'âge chez le crocodile du Nil

Âge	Longueur
3 mois	55 cm
6 mois	85 cm
1 an	110 cm

En conditions naturelles, la maturité sexuelle est acquise entre vingt et trente-cinq ans d'âge. Au Zimbabwe, les crocodiles sont abattus à deux ou trois ans (1,5 m) et entre dix et quatorze mois en Afrique de l'Est. Les abattages se font par balle dans la tête ou par section de l'épine dorsale.

● La manipulation

La manipulation des crocodiles doit se faire avec une grande précaution, car même les jeunes animaux peuvent provoquer des morsures graves qui s'infectent facilement. Il ne faut jamais manipuler seul les animaux.

Pour éviter les blessures et le stress lors de la manipulation, il convient d'immobiliser les mâchoires en position fermée. Une fois l'animal capturé et drogué, trois ou quatre tours de bande adhésive plastique suffisent pour bloquer les mâchoires. L'opération est plus facile si on couvre les yeux de l'animal avec une couverture. Il est très important de garder les narines de l'animal dégagées afin d'éviter sa mort par étouffement. L'immobilisation chimique des crocodiles peut se faire avec de la Gallamine (Flaxedil®, 40 mg/ml), un agent bloquant de la plaque neuromusculaire qui immobilise l'animal mais n'a pas d'effet analgésique. Le produit est uniquement recommandé pour la capture, le transport et les manipulations, mais en aucun cas pour des manipulations douloureuses. Pour des petites interventions (nettoyage de plaies, amputation de doigts), on peut utiliser un anesthésique local comme la lidocaïne.

Une dose moyenne de 1 mg/kg de Gallamine peut être utilisée. La neostigmine (Prostigmine®, 2,5 mg/ml) est l'antidote de la Gallamine ; elle produit ses effets au bout de dix à vingt minutes avec une dose moyenne de 0,06 mg/kg pour les petits individus et 0,03 mg/kg pour les grands.

● Les maladies

Il existe peu de troubles pathologiques chez les animaux adultes. La plupart des problèmes apparaissent chez les jeunes qui sont sensibles à une grande variété de maladies. La qualité de l'eau est un élément essentiel pour la santé des animaux. L'environnement des élevages est particulièrement favorable à la propagation d'agents bactériens comme les salmonelles et les entérobactéries. Des foyers d'origine virale (adénovirus ou poxvirus) ainsi que des chlamydioses ont été signalés.

Les maladies non infectieuses incluent les blessures provoquées par des agressions intraspécifiques, les altérations provoquées par le stress et l'ostéodystrophie provoquée par une carence en calcium ou en vitamine D₃. L'anorexie est fréquente chez les reptiles en captivité. L'appétit des animaux anorexiques peut être stimulé par une injection de vitamine B12.

● Les produits de l'élevage

● La peau

C'est le produit principal, de grande valeur mais très fragile ; elle peut très facilement être abîmée par la moindre erreur de manipulation entraînant la perte de toute sa valeur. Les peaux sont regroupées en cinq classes de tailles, exprimées en fonction de la largeur : 18-24 cm, 25-29 cm, 30-33 cm, 34-40 cm et 40 cm ou plus. Elles sont également classées en quatre catégories, selon la qualité de la conservation, la forme de la peau, la qualité du dépeçage et le nombre, la taille et la situation d'éventuels trous, cicatrices ou ostéodermes.

● La viande

C'est un sous-produit en général utilisé pour nourrir d'autres crocodiles mais dans certains cas elle est utilisée pour la consommation humaine. Il s'agit d'une chair blanche et ferme, de consistance et de saveur intermédiaires entre celles du poisson et du poulet. Sa teneur en protéines est élevée (21 % contre 13 % chez le porc).

● Les autres sous-produits

Ils comprennent la tête, les pattes, les ongles et les dents qui peuvent être vendus sous forme d'artisanat local manufacturé. Vésicule biliaire, pénis, glandes cloacales et huile peuvent trouver acquéreurs sur les marchés asiatiques (médecine, cosmétologie). Crânes, dents, pattes et squelettes se vendent aux touristes, mais aussi parfois aux musées et à des centres d'enseignement.

● Le tourisme

Il constitue une source de revenus importante pour de nombreux élevages qui ont fait l'effort d'aménager leur site de façon attractive.

La production de crocodiles est particulièrement développée en Afrique australe et prend progressivement de l'ampleur en Afrique de l'Est (Ouganda, Kenya, Ethiopie, Tanzanie). Le *ranching* permet l'implication des populations locales dans la collecte des œufs, favorisant une prise de conscience sur la valorisation de ces espèces, auparavant considérées comme nuisibles. Les crocodiles du Nil sont indexés en annexe II de la Convention de Washington (CITES), et leur commerce international est donc soumis à des contrôles et restrictions qu'il faut connaître avant de se lancer dans une opération commerciale d'exportation.

● L'élevage de l'autruche

Comme tous les ratites, l'autruche est un oiseau de grande taille, à ailes réduites et dont le sternum est dépourvu de bréchet. En Afrique, on distingue quatre sous-espèces d'autruche : *Struthio camelus camelus* en Afrique de l'Ouest, *S. c. molybdophanes* en Somalie, *S. c. masaicus* en Afrique de l'Est et *S. c. australis* en Afrique australe. L'intérêt de l'homme pour cet oiseau remonte au moins à l'antiquité, avec notamment l'utilisation des plumes pour confectionner des parures luxueuses.

● Les installations

L'autruche est un animal grégaire qui dépend du groupe pour développer plusieurs de ses activités biologiques. Il panique facilement devant un mouvement subit ou un bruit soudain, avec une tendance à fuir contre les grillages et à se blesser. Il faut donc éviter les morceaux de grillage qui dépassent, les pointes, les boucles, les coins avec lesquels des autruches risquent de se blesser. La hauteur du grillage doit être de 1,5 m avec des poteaux de séparation tous les 4 m. Le diamètre du grillage doit être au moins de 1,5 mm.

Les autruches, et en particulier les autruchons, sont très sensibles au froid et à l'humidité. Des abris contre le soleil et la pluie sont indispensables, tant en élevage extensif qu'intensif. L'espace réservé aux autruchons doit être réchauffé par des convecteurs électriques ou des lampes infrarouges. La température au niveau des oiseaux doit être de 25-28°C. L'air doit cependant pouvoir circuler facilement. Les murs et le plancher doivent être construits en béton pour faciliter le nettoyage. Les surfaces recommandées sont mentionnées au tableau 6.

Tableau 6. Surfaces recommandées pour l'élevage intensif d'autruches

Age	Nombre d'animaux	Surface	Surface ombragée
2-3 semaines	100	15 m ²	10 m ²
6 semaines	100	30 m ²	15 m ²

● L'alimentation

● L'apprentissage des autruchons

Jusqu'à deux mois, l'alimentation est délicate et nécessite une attention constante. Les oiseaux naissent avec une réserve de vitellus qui dure sept à dix jours. Pendant cette période, ils doivent subir un apprentissage pour se nourrir et boire avant dix jours, faute de quoi ils meurent. Ce n'est pas toujours facile, mais plusieurs méthodes existent pour résoudre le problème :

- > *l'adoption* : les autruchons peuvent apprendre par imitation des adultes (adoption). Pour cela il faut installer une paire d'adultes dans une installation de 50 x 100 m et les laisser pondre et incuber jusqu'à une semaine avant éclosion. Au fur et à mesure que les œufs sont pondus, ils sont remplacés par des œufs incubés artificiellement. Ce système permet de donner aux parents une trentaine d'œufs. Les parents adoptifs apprendront aux poussins à manger et boire. Au cours de cette période, un aliment sec mélangé à de la luzerne fraîche finement coupée est distribué dans des mangeoires peu profondes réparties dans l'enclos à raison de une pour 2 m², car les poussins marchent sans cesse et ne s'habituent pas à un lieu unique de distribution ;
- > *l'appâtage* : une autre méthode utilisée dans des systèmes plus intensifs est celle de parsemer la ration avec de la luzerne broyée, de la laitue ou de l'œuf dur sur l'eau et la nourriture afin d'en stimuler la consommation.

Les rations protéiques des autruches varient avec l'âge et les ressources alimentaires disponibles. Le tableau 7 peut servir de guide.

Tableau 7. Besoins nutritionnels des autruches (source: Keften, 1993)

	Protéines (%)	Fibres (%)	Ca (%)	P (%)	ME (MJ/kg)
0-4 semaines	18	8	1,20	0,7	11
6-12 semaines	16	10	1,20	0,7	10
3-6 mois	14	12	1,20	0,7	10
Adultes - Maintenance	12	14	1,20	0,7	9
Adultes - Reproduction	14	16	2,75	0,8	10

Plusieurs fabricants commercialisent des granulés adaptés aux différents stades de la production mais un supplément en luzerne broyée ou en fourrage est souvent nécessaire. Les mangeoires doivent être suffisantes pour éviter la concurrence. Jusqu'à 6 mois d'âge, les animaux sont nourris *ad libitum*. Au delà, les animaux choisis pour l'abattage sont nourris avec 1 à 1,5 kg de ration jusqu'à l'âge de l'abattage (12-14 mois).

Les reproducteurs consomment 1,5 kg/jour jusqu'à la maturité sexuelle. Au delà, on leur distribue 2 kg/jour pendant les périodes d'activités et 1,5 kg/jour pendant les périodes de repos.

● La reproduction

● Le sexage

Les autruches ne montrent aucun dimorphisme sexuel jusqu'à l'âge de 12-14 mois. L'examen du cloaque est nécessaire pour laisser apparaître les organes reproducteurs et distinguer les mâles des femelles avant ce stade, mais il faut travailler avec douceur sous peine de provoquer une irritation de la muqueuse et un prolapsus. Le pénis est rouge et deux fois plus grand que le clitoris des femelles du même âge.

Tableau 8. Taille des organes sexuels en fonction du poids (source : Campodonico et Masson, 1992)

Poids (kg)	Longueur clitoris (cm)	Longueur pénis (cm)
1,5 - 3	0,2 - 0,4	0,5 - 0,8
18 - 32	0,6 - 0,8	1,3 - 2,4

● La ponte

La puberté est atteinte vers trois ou quatre ans chez le mâle, et la femelle pond à partir de trois ans. En début de saison de reproduction, le mâle, agressif, quitte le troupeau avec deux ou trois femelles. La femelle commence à déposer un œuf tous les deux jours, cinq à quinze jours après accouplement. Plusieurs femelles pondent dans le même nid six à seize œufs chacune. Environ deux semaines se passent entre la ponte et le début de la couvaison, qui dure en moyenne 41 jours ; elle est assurée par

la femelle dominante le jour et par le mâle la nuit. Les conditions de couvaision sont de 30°C avec 32 à 52 % d'humidité relative.

● **L'incubation**

Si les œufs sont retirés du nid, les femelles continuent à pondre plus longtemps. Une production de quarante œufs par femelle et par saison est déjà honorable. Compté tenu d'une fertilité de 50 % et d'un taux d'éclosion de 70 %, on peut espérer obtenir quinze poussins par femelle et par saison.

En attendant leur mise en couveuse, les œufs sont stockés au maximum sept jours à 15°C par 70 % d'humidité relative. Au-delà de ce délai, le taux d'éclosion chute de façon importante. Dès leur récolte, les œufs sont marqués et désinfectés par brossage puis par fumigation au formaldéhyde. Les couveuses doivent être thermostatées à 35-36°C et l'hygrométrie adaptée afin que les œufs perdent 15 % de leur poids de départ avant l'éclosion. Les œufs sont retournés au moins trois fois par jour, jusqu'à 48 heures de l'éclosion. Le taux d'éclosion augmente avec la fréquence de retournement des œufs. Un faisceau étroit de 1 000 watts permet de mirer les œufs dès le vingtième jour d'incubation et en cas de non-éclosion, l'éleveur peut provoquer celle-ci ou l'aider. Après 38 jours d'incubation, les œufs sont placés en chambre d'éclosion à la même température. Les poussins y restent 12 à 24 heures pour sécher et sont ensuite placés dans des locaux à 28°C sans transition. Peu avant l'éclosion, du vitellus passe dans l'abdomen du poussin, qui ensuite n'aura pas faim pendant 24 à 72 heures.

L'élevage *naturel* en petits enclos par les parents donne des résultats comparables à ceux des méthodes intensifiées. En effet, en conditions naturelles, le nombre d'œufs est inférieur, mais le succès de l'éclosion et de l'élevage est supérieur. En revanche, le système naturel implique l'entretien d'un grand nombre d'adultes et la construction de petits enclos coûteux.

● **La croissance**

Deux options se présentent pour l'élevage des jeunes :

- > *l'adoption des jeunes par un couple* : un couple d'autruches accepte d'adopter des autruchons dans la mesure où ceux-ci sont plus jeunes que leurs propres poussins. Dans un élevage, les œufs des meilleures pondeuses sont mis en couveuse, tandis que les autres femelles couvent leurs propres œufs. Des poussins issus de la couveuse sont ensuite confiés, par lots de cinq, à des parents qui s'en occupent jusqu'à l'âge de trois ou quatre mois. À cet âge, les jeunes sont retirés aux parents et regroupés en lots. Un couple peut élever soixante-dix à cent poussins par saison. Seules des autruches élevées par des adultes peuvent être relâchées dans la nature ;
- > *l'élevage sans parents* : l'élevage artificiel de quelques autruches est relativement simple, mais son intensification requiert une haute technicité.

Les jeunes déjà robustes sont transférés soit en *feedlots*, soit en grands enclos. En alimentation totalement artificielle, la surface optimale par animal n'est pas clairement établie. À l'opposé, en élevage sur parcours naturel non complétement, il faut compter l'équivalent d'un adulte pour cinq hectares de bon pâturage, et un pour dix hectares en moyenne. La présence d'abris est indispensable.

La taille adulte est atteinte vers le neuvième mois mais le cuir, production souvent la plus recherchée, est utilisable en tannerie seulement à partir de quatorze mois.

Une ration d'entretien doit donc être distribuée durant six mois sans qu'aucune croissance n'en résulte. En moyenne, l'autruche parvenue à un poids de 100 kg en quatorze mois a ingéré 700 kg d'aliment.

● L'amélioration génétique

L'élevage de l'autruche représente un secteur très en vogue actuellement et la sélection de génotypes favorables est très souvent pratiquée. La sélection se fait essentiellement sur la taille pour les mâles et sur les performances reproductrices pour les femelles. Il est recommandé que la moitié des autruchons issus des œufs prélevés soit retournés à leur territoire d'origine.

● La manipulation et la contention

Les autruches peuvent être dangereuses pour l'homme, en particulier à cause de leurs coups de pattes qui peuvent produire des blessures importantes, leurs ongles étant particulièrement tranchants. Il est important de s'en méfier, surtout des mâles en période de reproduction.

Un manche de trois mètres avec un crochet au bout, que l'on place derrière le cou de l'animal, permet de l'immobiliser et l'empêche de donner des coups de pattes. Il faut alors en profiter pour mettre un capuchon sur la tête, qui immobilise définitivement l'oiseau. Il ne faut jamais tordre le bâton afin d'éviter de disloquer les vertèbres. Il faut éviter les poursuites d'animaux qui durent longtemps et leur immobilisation sous des températures élevées.

● Les maladies

L'ingestion de corps étrangers est commune chez l'autruche et peut souvent déboucher sur d'autres troubles digestifs (occlusion, entérite, péritonite). Le diagnostic d'une occlusion du gésier peut se faire par palpation ou par radiographie. Le traitement est souvent peu efficace, mais un diagnostic précoce du problème peut permettre une chirurgie extractive du corps étranger.

L'autruche est très sensible aux températures extérieures. Son plumage ne permet pas une bonne imperméabilité ni une thermo-isolation. Ainsi les autruchons mouillés sont très sensibles au froid, surtout les plus jeunes. Ils sont aussi sensibles aux coups de chaleur, facilement détectables par une respiration agitée, l'ouverture des ailes et l'érection des plumes. L'aspersion avec de l'eau fraîche est une façon efficace de soulager ces symptômes. Les parasites de l'autruche (internes et externes) peuvent être traités avec les produits présentés au tableau 9.

Tableau 9. Principaux produits déparasitants chez l'autruche

Parasites	Produit	Dose	Administration
Nématodes	Fenbendazole	15 mg/kg	Orale
	Levamisole	7,5 mg/kg	Orale
Cestodes	Praziquantel	5 mg/kg	Orale
	Niclosamide	50 mg/kg	Orale
Ecto et endoparasites	Ivermectine	1 ml/50 kg	Injection subcutanée, tous les 3 mois

Source : KEFTEN, 1993

● Les productions

● Les plumes

Elles présentent une souplesse caractéristique. Au cours de la croissance de l'animal, le plumage subit plusieurs mues, la dernière ayant lieu entre dix-huit et vingt-quatre mois. Il subit aussi des changements saisonniers : il est plus beau et plus coloré en période de reproduction. Pennes, rémiges et rectrices peuvent être régulièrement récoltées selon différentes méthodes, un animal fournissant un à trois kilos de plumes par coupe. Une autruche peut être plumée tous les neuf mois pendant vingt à trente ans. La tendance actuelle est à l'exploitation unique lors de l'abattage (quatorze à seize mois).

● La viande

Elle représente le dixième de la valeur globale et plus du tiers du poids vif. Les cuisses représentent 38 % du poids de la carcasse, soit en moyenne 28 kg. Un animal fournit 17 kg de viande désossée de premier choix, dont 3,5 kg de *filets* et 4,5 kg de steaks. En Afrique australe, les meilleurs morceaux sont vendus comme viande de luxe, ou sous forme de *biltong* (lanières de viande séchée). Pour éviter le stress du transport, les animaux sont souvent abattus et plumés sur la ferme, puis immédiatement transportés en camion à l'abattoir où a lieu la suite du traitement des carcasses.

● La peau

Elle est actuellement la partie la mieux valorisée de cet oiseau. Sa valeur augmente avec l'âge de l'animal, mais la tendance actuelle à l'intensification conduit à la mise sur le marché d'un produit assez uniforme : le cuir d'autruche de quatorze à seize mois. Dès que l'animal est dépecé, sa peau est salée, roulée et placée dans un sac en paille maintenu humide et frais. Tant qu'elle n'est pas acheminée à la tannerie, elle doit être déroulée, lavée, salée et ré-enroulée toutes les semaines.

● Les autres productions

- > les os ou les pieds, façonnés ou sculptés, servent à faire divers objets (cendriers, etc.). La peau des pattes est aussi utilisée en tannerie ;
- > les œufs, pesant 750 à 1 500 g, sont très appréciés en cuisine et leur coquille non cassée peut être vendue en artisanat ;
- > les graisses sont recherchées pour leurs vertus médicinales, en particulier la moelle osseuse des os du tarse, dont la récupération est le but principal du braconnage des autruches dans la nature ;
- > les animaux vivants sont parfois vendus à d'autres fermes ou diverses institutions ;
- > les fermes de démonstration, organisées pour recevoir des visiteurs afin de leur expliquer les stades de l'élevage, avec magasin artisanal et restaurant, peuvent constituer une source importante de revenus.

Bibliographie

Le Game farming

- BOTHMA, J. D. P., (1996). *Game ranch management*. Pretoria, J.L. van Schaik (PTY) Ltd., 3^{ème} ed., 635 pp.
- BOURN, D. and BLENCH R., (1999). *Can livestock and wildlife co-exist ? An interdisciplinary approach*. London, Odi.
- CHARDONNET, P., (1995). *Faune sauvage africaine : la ressource oubliée - Tome I*. Bruxelles, Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes.
- DE GARINE-WICHATITSKY, M., (1999). *Ecologie des interactions hôtes/vecteurs : analyse du système tiques/ongulés sauvages et domestiques en zone tropicale*. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier II. Montpellier, France.
- FRITZ, H., (1995). *Etude des systèmes mixtes d'herbivores sauvages et domestiques en savane africaine : structure des peuplements et partage de la ressource*. Thèse de Doctorat. Université Paris VI. Paris, France.

Les escargots

- HARDOUIN J., STIÉVENART C., CODJIA J.T.C., (1995). « *L'achatina culture* ». Revue mondiale de zootechnie, 83: 29-39
- STIÉVENART C., HARDOUIN J., (1990). « *Manuel d'élevage des escargots géants africains sous les tropiques* », Wageningen (NLD) : CTA, 34 p.
- ZONGO D., ODJO M.G., COULIBALY M., NGUÉSSAN K., (1992). « *Croissance, développement et composition chimique de l'escargot géant africain Achatina achatina* ». In : Actes de la 7^{ème} Conférence internationale des institutions de médecine vétérinaire tropicale. Yamoussoukro. Côte-d'Ivoire, AIMVT p 759.

Les crocodiles

- BLAKE, DK., (1993). *The Nile crocodile Crocodylus niloticus : capture, care, accomodation and transportation*. In McKenzie, A.A. The Capture and Care Manual, Pretoria, 653-676.
- BOLTON M., (1990). *L'élevage des crocodiles en captivité*. Cahier FAO de conservation n° 22, Rome, 84 pp.
- FRITZ H., MSELLATI L., CHARDONNET P., PLANTON H. et FEER F., (1995). *Elevages intensifs*. Dans : CHARDONNET, P. *Faune sauvage africaine. La ressource oubliée*. CECA-CE-CEEA, Bruxelles, 334-276.

Les autruches

- CAMPDONICO, P. MASSON, C., (1992). *Les ratites. Elevage et productions*. CIRAD-EMVT, 98 pp.
- EBEDES, H. and BOTHMA, J. du P., (1996). *Ostriches*. In : Bothma, J. du. P. In Game ranch management. Pretoria, J.L. van Schaik (PTY) Ltd. 3rd Ed, 473-477.
- KEFFEN, R.H., (1993). *Ostrich (Struthio camelus) : capture, accomodation and transportation*. In McKenzie, A.A. The Capture and Care Manual, Pretoria.
- LAUNOIS, D., DUVALLET, G., BASTIANELLI, D et MONICAT, F., (2000). *L'autruche pédagogique*, Publication CIRAD.
- SHANAWANY, M.M. (1995) *Recent development in Ostrich farming*. Revue mondiale de zootechnie, 83 (2), 3-8.

Les aulacodes

- ADJANOHOUN, E., (1988). *Contribution au développement de l'élevage de l'aulacode et à l'étude de sa reproduction*. Thèse Doct. Vétérinaire d'état. Env Maison Alfort, France, 198 pp.
- JORI, F., NOËL, JM., (1996). *Guide pratique d'élevage d'aulacodes au Gabon*. Coopération française/Vsf, 64 pp.
- JORI, F., MENSAH, GA et ADJANOHOUN, E., (1995). *Grasscutter production : an example for rational exploitation of wildlife*. Biodiversity and Conservation, 4 (3), 257-265.

- HEYMANS, J.C., (1996). *L'élevage de l'aulacode (Thryonomys swinderianus)*. Cahier de conservation FAO, n°31, Rome, 98 pp.
- SCHRAGE, R., YEWADAN, L.T. (1995). *Abregé d'aulacodiculture*. Schriftenreihe der GTZ, N° 251, Rossdorf, 103 pp
- SCHRAGE, R., YEWADAN, L.T. (1992). *Actes de la 1^{ère} Conférence en aulacodiculture*, Cotonou, Benin. 225 pp.

Le mini-élevage

- ANONYMOUS N.R.C, (1991). *Microlivestock: Little Known Animals with a Promising Economic Future* - 450 p, National Academy Press Washington D.C.
- HARDOUIN J., THYS E., (1997). *Le mini-élevage : son développement villageois et l'action du BEDIM*, Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 1. (2), 92-99.
- HARDOUIN J., (1997). *Developing minilivestock as source of human food, animal feed or revenue : a brief overview*, Ecology of Food and Nutrition, 36 Special Issue: Minilivestock, 97-10.
- HARDOUIN J., (1995). *Minilivestock: from gathering to controlled production*, Biodiversity and conservation, 4, 220-232
- HARDOUIN J., (1992). *Place du mini-élevage dans le développement rural tropical*. - Cahiers Agricultures, 1, 196-199

ANNEXES

- 1** **Formulaires**
- 2** **Adresses utiles**
- 3** **Index**
- 4** **Sommaire des cédéroms**



Annexe 1. Formulaires

- 1 Tableau des multiples et sous-multiples décimaux**
- 2 Tableau d'équivalence des principales mesures anglo-saxonnes et métriques**
- 3 Formule de conversion des chevaux vapeur en kilowatts**
- 4 Formule de conversion des degrés Fahrenheit en degrés centigrades**
- 5 Table d'équivalence de diverses unités mondiales**
- 6 Densités apparentes**
- 7 Conversion des pentes métriques en degrés et réciproquement**
- 8 Calculs de surface et de volume**

1. Tableau des multiples et sous-multiples décimaux

Facteur par lequel est multipliée l'unité	Préfixe à mettre avant le nom de l'unité	Symbole à mettre avant celui de l'unité
10^{12} ou 1 000 000 000 000	téra	T
10^9 ou 1 000 000 000	giga	G
10^6 ou 1 000 000	méga	M
10^3 ou 1 000	kilo	k
10^2 ou 100	hecto	h
10^1 ou 10	déca	da
10^0 ou 1	-	-
10^{-1} ou 0,1	déci	d
10^{-2} ou 0,01	centi	c
10^{-3} ou 0,001	milli	m
10^{-6} ou 0,000 001	micro	μ
10^{-9} ou 0,000 000 001	nano	n
10^{-12} ou 0,000 000 000 001	pico	p

2. Tableau des principales mesures anglo-saxonnes et métriques

Pour passer de B à C, multiplier par D. Pour passer de C à B, multiplier par A.

A	B	C	D
LONGUEURS			
0,394	Inch (1 in)	centimètre	2,54
3,281	Foot (1ft)	mètre	0,308
1,094	Yard (1yd)	mètre	0,914
0,612	Mile (statute)	kilomètre	1,60864
69,17	Mile (statute)	degré de longitude	0,014
0,540	Mile (nautical)	kilomètre	1,85327
SURFACES			
0,155	Square (Sq in)	centimètre carré	6,452
10,764	Square foot (Sq ft)	mètre carré	0,0929
1,196	Square yard (Sq yd)	mètre carré	0,836
2,471	Acre	hectare	0,4046
0,386	Square mile	kilomètre carré	2,59
VOLUMES			
0,061	Cubic inch	centimètre cube	16,387
35,315	Cubic foot	mètre cube	0,0283
1,308	Cubic yard	mètre cube	0,764
VOLUMES LIQUIDES			
0,88	Impérial quart	litre	1,136
1,057	US quart	litre	0,946
0,22	Imp. Gal (1,201 US gal)	litre	4,546
0,264	US gal (0,833 Imp. gal)	litre	3,785
2,750	Imp. Bushel (1,032 Imp. bu)	hectolitre	0,3634
2,838	US bushel (0,969 Imp. bu)	hectolitre	0,3523
2,1	Pint (1/8 de gal)	litre	"0,473 (USA) 0,568 (G-B)"

A	B	C	D
POIDS (mesures pharmaceutiques)			
15,432	Grain	gramme	0,065
0,032	Ounce (480 grains)	gramme	31,2
2,674	Pound (5 760 grains)	kilogramme	0,3732
POIDS (avoir du poids)			
0,035	Ounce	gramme	28,35
2,205	Pound (lb)	kilogramme	0,4535
1,102	Short ton (2.000 lb)	tonne métrique	0,907
0,984	Long ton (2.240 lb)	tonne métrique	1,016
VITESSES			
0,621	Mile (statute) per hour	kilomètre à l'heure	1,609
0,54	Knot (1 nautical mile/h)	kilomètre à l'heure	1,853
3,281	Foot per second	mètre par seconde	0,305
CONCENTRATIONS			
0,160	Ounce per Imp. gallon	gramme par litre	6,236
0,134	Ounce per US gallon	gramme par litre	7,49
RENDEMENTS			
0,892	Pound per acre	kilogramme par hectare	1,121
89,218	Pound per acre	quintal par hectare	0,011
0,040	Short ton per acre	quintal par hectare	22,42
0,089	Imp. Gallon per acre	litre par hectare	11,21
1,148	Bushel per acre	hectolitre par hectare	0,862
1,487	Bushel per acre (blé)	quintal par hectare (maïs)	0,672
1,549	Bushel per acre (maïs)	quintal par hectare (blé)	0,627
1,859	Bushel per acre (orge)	quintal par hectare (orge)	0,538
POIDS PAR UNITE DE VOLUME			
0,752	Long ton/cu. yd	t/m ³	1,329
0,843	Short ton/cu. yd	t/m ³	1,186
1,685	lb/cu. Yd	kg/m ³	0,593

3. Formule de conversion des chevaux-vapeur en kilowatts

1 ch = 75 kg x m/s = 735,5 W = 0,7355 kW ; 1 kW = 1,36 ch

4. Formule de conversion des degrés Fahrenheit en degrés centigrades

$\theta^{\circ}\text{C} = 5/9 (\theta^{\circ}\text{F} - 32)$

5. Table d'équivalence de diverses unités mondiales

Les équivalences dans le système impérial ont été décimalisées.

Unité	Pays	Equivalence dans le système métrique	Equivalence dans le système impérial
Aliqueire	Brésil	2,42 ha	5,98 acre
Archine	U.R.S.S.	0,71 m	2,33 ft
Arroba	Espagne	11,5 kg	25,31 pounds
Bushel	Commonwealth	36,35 l	0,8 imp. gal
Caballeria	Guatemala	45,00 ha	111,20 acre
Candy	Inde	254,2 kg	560,0 lb
Catty ou kin	Thaïlande, Chine	0,604 kg	1,33 lb
Chain	Royaume Uni	20,1 m	22,0 yd
Déciatine	U.R.S.S.	1,09 ha	2,7 acre
Dirhem	Egypte	3,12 g	48,15 grain
Fanega	Espagne	57,4 l	1,58 bu
Feddan	Egypte	0,420 ha	1,038 acre
Foot	Commonwealth	30,5 cm	12,0 in.
Foot	Maurice	32,5 cm	12,8 in.
Foot	Afrique du Sud	31,5 cm	12,375 in.
Furlong	Royaume Uni	201,0 cm	10,0 chain
Gallon	Commonwealth	4,546 l	8,0 pint
Guz	Inde	0,914 m	1 yd
Hundredweight	Royaume-Uni	50,802 kg	112,0 lb
Kantar, Cantaro ou Quantar	Espagne, Cuba	46,0 kg	0,9 cut.
Koh	Egypte	45,0 kg	99,05 lb
Koh	Japon	0,99 ha	2,45 acre
Libra ou Arratel	Espagne	0,46 kg	1,014 lb
Livre	Maurice	0,5 kg	1,102 lb
Mauud	Etats arabes	25,42 kg	56,0 lb
Morgen	Inde (Bombay)	12,71 kg	28,0 lb
Mou ou Mow	Afrique du Sud	0,856 ha	2,117 acre
Mile	Chine	1/15 ha ou 674,5 m ²	0,1666 acre
Mile (nautique)	Royaume Uni	1,609 km	5,280 ft
Mile (nautique)	U.S.A.	1,853 km	6,0802 ft
Oke ou Okka	Egypte	1,248 km	2,751 lb
Pfund	Allemagne	500,0 g	1,102 lb
Picul, Picol ou Tam	Chine	60,45 kg	1333,333 lb
Pint	Royaume Uni	0,568 l 2	0 fluid oz
Pole	Royaume Uni	4,95 m	5,5 yd
Pood	Russie	14,62 kg	36,113 lb
Pound	Royaume Uni	0,4536 kg	16 oz
Quasaba	Egypte	3,55 m	11,65 ft
Quart	U.S.A. (liquid)	0,946 l	0,8327 imp. pint
Roba	Etats arabes	25,40 kg	56 lb
Rood	U.S.A., Royaume Uni	1 017,7 m ²	1,210 sq. yd
Rotl, Roti, rotel ou Rottdo	Egypte	0,495 kg	0,9905 lb
Seer	Inde (Bombay)	0,327 kg	0,72 lb
Stone	Royaume Uni	6,35 kg	14,0 lb
Tan	Chine	60,55 kg 1	33,5 lb
—	Japon	991,5 m ²	0,245 acre
Tonne espagnole	Espagne	1,15 t	2 531,75 lb
Tonelada ou Tonnelade	Argentine	918,0 kg	2 025,6 lb
	Guatemala	920,0 kg	2 028,0 lb
	Portugal	794,0 kg	1 748,0 lb
Vara	Pays d'expression espagnole	0,836 m ³	2,34 lb
Verste	U.R.S.S.	1,067 km	3 500 ft

6. Densités apparentes de diverses substances

Substance	kg/m ³
Matériaux divers	
Caoutchouc brut	920 - 960
Charbon de bois poreux	400
Charbon de bois non poreux	1 400 - 1 500
Cire	950-980
Cuir sec	860
Engrais (voir chapitre fertilisation)	
Ivoire	1 830 - 1 920
Liège	240
Mercurc	13 596
Pétrole	780 - 850
Os	1 700 - 2 000
Papier	700 - 1 150
Sucre	1 600
Sulf	900 - 970
Sel de cuisine	2 200
Produits agricoles liquides	
Huile d'arachide	915 - 918
Huile d'olive	916 - 920
Huile de palme	920
Lait gras	1 028
Lait écrémé	1 032
Latex, Hévéa	940
Beurre	940
Produits agricoles solides	
Arachides coques « huilerie »	370 - 400
Arachides coques « bouche »	270 - 300
Arachides graines	600 - 620
Blé (grains)	760 - 800
Cacao (fèves fraîches)	900
Cacao (fèves fermentées)	775
Cacao (fèves sèches)	635
Café (cerises fraîches)	620
Café (cerises sèches)	450
Café (café marchand)	715
Coton :	
– coton graine non tassée"	100 -120
– coton fibre :	
* pressé standard	380
* haute densité"	500
– graines non délignées	420
Haricots grains	800
Luzerne graine	750 - 800
Maïs en grains	750 - 800
Mil	700
Orge (grains)	600 - 650
Paille (comprimés)	60 - 250

Substance	kg/m ³
Palmier à huile :	
– noix de palme	790 - 800
– palmiste (5 % humidité)	550
– régimes frais	500 - 650
– fruits stérilisés	600 - 700"
Poivre sec :	
– noir	450 - 480
– blanc	620 - 680
Pomme de terre	620 - 780
Riz :	
– gerbes	80 - 120
– paddy	500 - 630
– cargo	700 - 750
– riz blanchi	800 - 850
Soja (graines)	750 - 800
Sorgho (graines)	670 - 700
Tabac (graines)	450

7. Conversion des pentes métriques en degrés et réciproquement

Pentes métriques en degrés d'inclinaison				Degrés d'inclinaison en pentes métriques (1)			
Pentes métriques	Degrés d'inclinaison	Pente métriques	Degrés d'inclinaison	Degrés d'inclinaison	Pentes métriques	Degrés d'inclinaison	Pentes métriques
0,005	0,286	0,080	4,574	0,25	0,00436	10	0,17633
0,010	0,725	0,085	4,858	0,5	0,00873	12	0,21236
0,015	0,859	0,090	5,143	0,73	0,01399	14	0,24933
0,020	1,146	0,095	5,427	1	0,01746	16	0,28675
0,025	1,432	0,100	5,710	1,5	0,02613	18	0,32492
0,030	1,718	0,105	5,994	2	0,03492	20	0,36397
0,035	2,004	0,110	6,277	2,5	0,04366	22	0,40403
0,040	2,291	0,115	6,560	3	0,05241	24	0,44523
0,045	2,576	0,120	6,843	3,5	0,06116	26	0,48773
0,050	2,862	0,125	7,125	4	0,06992	28	0,53171
0,055	3,148	0,130	7,407	4,5	0,07870	30	0,57735
0,060	3,434	0,135	7,688	5	0,08749	32	0,62451
0,065	3,719	0,140	7,969	6	0,10510	34	0,67451
0,070	4,004	0,145	8,250	7	0,12278	36	0,72634
0,075	4,289	0,150	8,530	8	0,14054	38	0,78120
				9	0,15838	40	0,83910

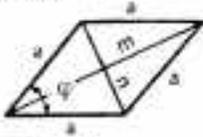
(1) D'une manière générale, la pente métrique est égale à la tangente de l'angle correspondant.

Note : la pente métrique est très fréquemment exprimée en pour cent ou pour mille ; par exemple une pente de 8 % correspond à une pente métrique de 0,080 et donc à 4,574°.

8. Calculs de surface et de volume

QUELQUES CALCULS SIMPLES

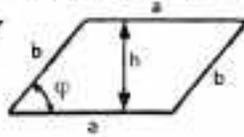
LOSANGE



$$S = a^2 \sin \psi$$

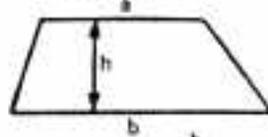
$$S = \frac{m \times n}{2}$$

$p =$ demi-périmètre
PARALLELOGRAMME



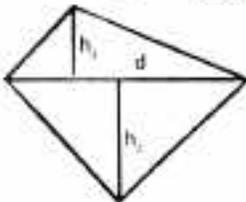
$$S = ah = ab \cdot \sin \psi$$

TRAPEZE

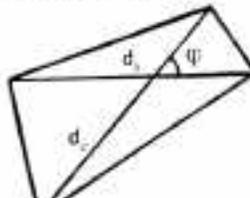


$$S = \frac{h}{2} (a + b)$$

QUADRILATERE QUELCONQUE

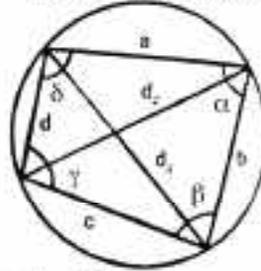


$$S = \frac{d}{2} (h_1 + h_2)$$



$$S = \frac{d_1 \cdot d_2}{2} \cdot \sin \psi$$

QUADRILATERE INSCRIT

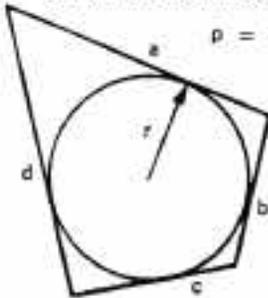


$$\alpha + \gamma = 180^\circ$$

$$\beta + \delta = 180^\circ \quad d_1 \cdot d_2 = ac + bd$$

$$S = \sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$$

QUADRILATERE EXINSCRIT



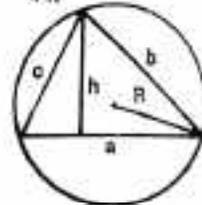
$$p = \frac{a + b + c + d}{2}$$

$$a + c = b + d$$

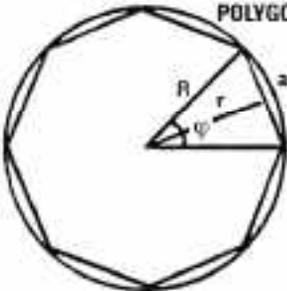
$$S = p \times r$$

TRIANGLE INSCRIT

$$S = \frac{ah}{2} = \frac{abc}{4R}$$



POLYGONE REGULIER A N COTES



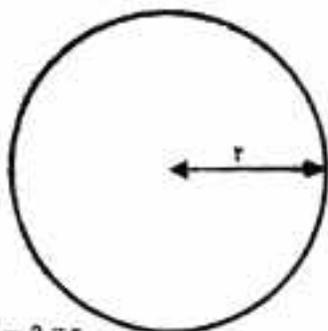
$$\psi = \frac{360^\circ}{n}$$

$$a = 2 \sqrt{R^2 - r^2} = 2R \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = 2r \cdot \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}$$

$$p = \frac{na}{2}$$

$$S = p \cdot r = \frac{1}{4} na^2 \cdot \operatorname{cotg} \frac{180^\circ}{n} = \frac{1}{2} nR^2 \sin \frac{360^\circ}{n} = nr^2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}$$

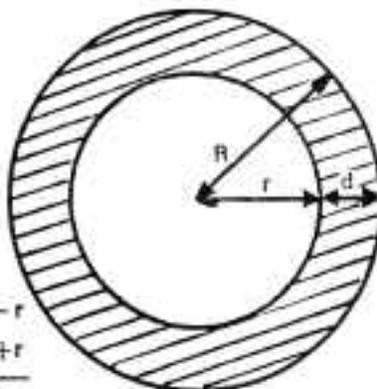
CERCLE



$$P = 2 \pi r$$

$$S = \pi r^2$$

COURONNE CIRCULAIRE

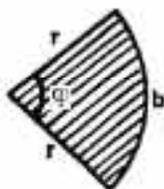


$$d = R - r$$

$$p = \frac{R + r}{2}$$

$$S = \pi(R^2 - r^2) = 2 \pi p d$$

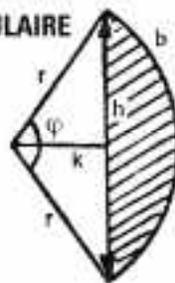
SECTEUR CIRCULAIRE



$$S = \frac{1}{2} br = \frac{\varphi}{360} \pi r^2$$

$$b = \frac{\varphi}{180} \pi r$$

SEGMENT CIRCULAIRE



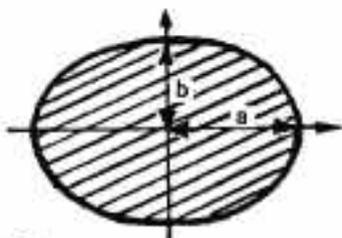
$$h = 2 r \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$k = r \cos \frac{\varphi}{2}$$

$$b = \frac{\varphi}{180} \pi r$$

$$S = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\varphi}{180} \pi - \sin \varphi \right) = \frac{br}{2} - hk$$

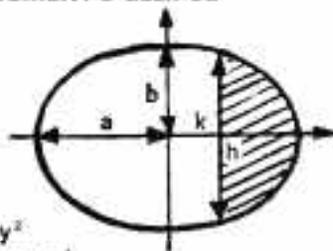
ELLIPSE



$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$S = \pi ab$$

SEGMENT D'ELLIPSE



$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$S = ab \cdot \text{arc cos} \frac{a-h}{a} - \frac{1}{2} k(a-h)$$

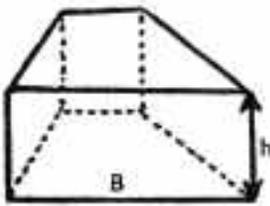
φ doit être exprimé en degrés

VOLUME DES CORPS

V = volume

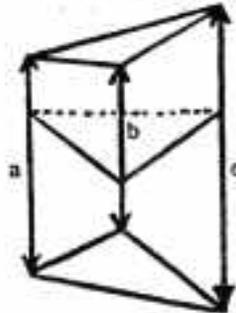
L = surface latérale

PRISME DROIT



$V = Bh$
 $L = ph$
 (plans parallèles)

TRONC DE PRISME A BASE TRIANGULAIRE



Section droite

$V = \frac{A}{3} (a + b + c)$

A désigne la surface de la section droite

TRONC DE PRISME A BASE QUELCONQUE (cylindre)

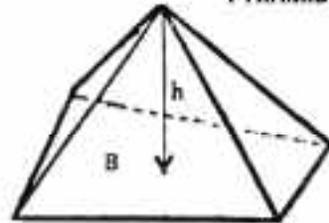


l = distance des centres de gravité des deux bases

A = surface de la section perpendiculaire à l

$V = Al$
 $L = pl$

PYRAMIDE



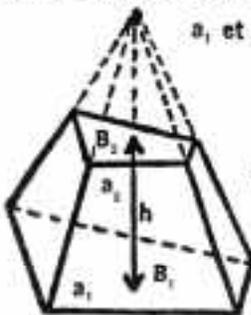
h = hauteur
 B = surface de base

$V = \frac{Bh}{3}$
 $L = \frac{Pl}{2}$

TRONC DE PYRAMIDE A BASES PARALLELES

h = distance entre les bases

B_1 et B_2 = surfaces de ces bases



a_1 et a_2 = côtés correspondant aux bases B_1 et B_2

$V = \frac{h}{3} (B_1 + B_2 \pm \sqrt{B_1 B_2}) =$

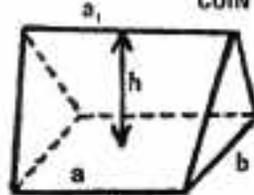
$\frac{hB_1}{3} \left[1 \pm \frac{a_2}{a_1} + \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 \right]$

signe + pour les bases d'un même côté du sommet

signe - pour les bases de part et d'autre du sommet.

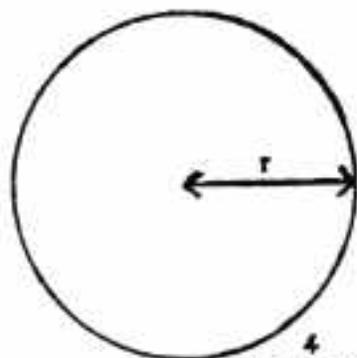
$L = \left(\frac{p^1 + p^2}{2} \right) l$ (cas de tronc droit et régulier)

COIN



$V = \frac{1}{6} (2a + a_1) bh$

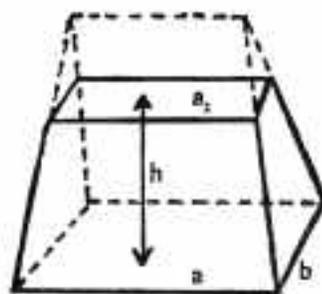
SPHERE



$$L = 4 \pi r^2$$

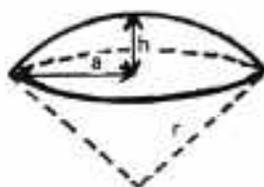
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

TAS DE SABLE



$$V = \frac{1}{6} h (ab + (a + a_2)(b + b_2) + a_2 b_2)$$

CALOTTE SPHERIQUE

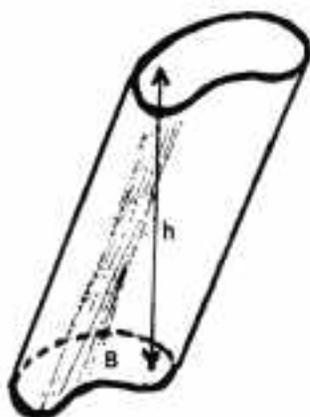


$$a = h(2r - h) \quad h = r - \sqrt{r^2 - a^2}$$

$$V = \frac{1}{6} \pi h (3a^2 + h^2) = \frac{1}{3} \pi h^2 (3r - h)$$

$$L = 2 \pi r h = \pi (a^2 + h^2) = 2 \pi r (r - \sqrt{r^2 - a^2})$$

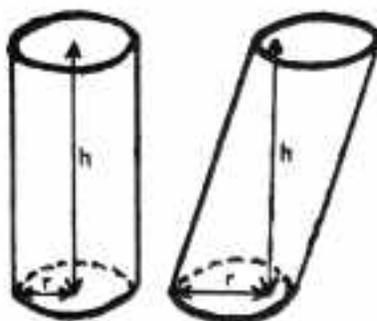
CYLINDRE (droit ou oblique)



h = hauteur

B = surface de base

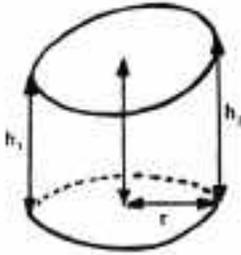
$$V = Bh$$

CYLINDRE CIRCULAIRE
(droit ou oblique)

$$V = \pi r^2 h$$

$$L = 2 \pi r h$$

CYLINDRE CIRCULAIRE DROIT
(tronqué obliquement)

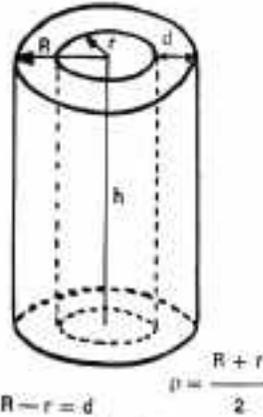


h_1 = génératrice la plus courte h_2 = génératrice la plus longue

$$V = \frac{1}{2} \pi r^2 (h_1 + h_2)$$

$$L = \pi r (h_1 + h_2)$$

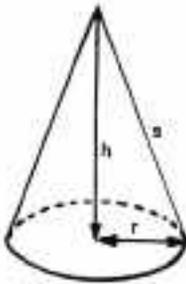
CYLINDRE CREUX (tube)



$$R - r = d$$

$$V = \pi h (R^2 - r^2) = \pi h (R + r) (R - r) = \pi h 2 \rho d = 2 \pi h \rho d$$

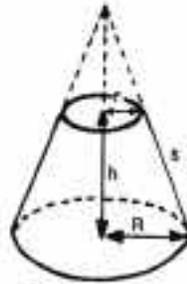
CONE CIRCULAIRE DROIT



$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$L = \pi r s = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$$

TRONC DE CONE CIRCULAIRE DROIT



$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)$$

$$L = \pi (R + r) s$$

Annexe 2. Adresses utiles

Politiques de coopération et financement du développement

Institutions publiques françaises

AFD

Agence française de développement
5, rue Roland Barthes - 75598 Paris cedex 12
www.afd.fr

FFEM

Fonds français pour l'environnement mondial
hébergé par l'AFD
www.ffem.net

HCCI

Haut Conseil de la Coopération Internationale
3 avenue de Lowendal - 75007 Paris
courrier électronique :
hcci@cooperation-internationale.gouv.fr
www.hcci.gouv.fr

MAAPAR

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation,
de la Pêche et des Affaires rurales
78 rue de Varenne - 75349 Paris 07 SP
www.agriculture.gouv.fr

MAE

Ministère des Affaires étrangères
Direction générale de la Coopération
internationale et du Développement (DGCID)
Direction du Développement
et de la Coopération technique
Sous direction du développement économique
et de l'environnement (DCT/E)
20 rue Monsieur - 75007 Paris
www.diplomatie.fr

MENV

Ministère de l'Ecologie et du Développement
durable
20 avenue de Ségur - 75302 Paris 07 SP
www.environnement.gouv.fr

Ministère de l'Outre-Mer

27 rue Oudinot, 75358 Paris 07 SP

Institutions internationales

BAD

Banque africaine de développement
Rue Joseph Anoma - 01 BP 1387 Abidjan 01
Côte d'Ivoire
www.afdb.org

Banque mondiale

Headquarters - General Inquiries
The World Bank
1818 H Street, N W,
Washington, DC 20433 Etats Unis.
www.worldbank.org

BasD

Banque asiatique de développement
P.O. Box 789, 0980 Manila, Philippines
www.adb.org/

CNUCED

Conférence des Nations Unies sur le Commerce
et le Développement
Palais des Nations
8-14, Av. de la Paix, 1211 Geneva 10 - Suisse
www.unctad.org

Commission européenne

Direction générale du Développement
B-1049 Bruxelles, Belgique
<http://europa.eu.int/comm/development>

CTA

Centre technique de coopération
agricole et rurale ACP-UE
Siège : Agro Business Park 2
6708 PW Wageningen, Pays-Bas
Adresse postale :
Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas
www.agricta.org ou www.cta.nl

FAO

Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie
www.fao.org

FIDA

International Fund for Agricultural Development
Via del Serafico, 107, 00142 Rome, Italie
www.ifad.org

GEF

The United Nations Development Programme (UNDP)

Global Environment Facility Unit (UNDP-GEF)

304 East 45th Street, 10th Floor

New York, NY 10017 – Etats-Unis

www.undp.org/gef

OCDE

Organisation de Coopération et de Développement Economique

2, rue André Pascal,

F - 75775 Paris Cedex 16 - France

www.oecd.org

OMC

Organisation mondiale du Commerce

Centre William Rappard, Rue de Lausanne 154,

CH - 1211 Genève 21, Suisse.

www.wto.org

PAM

Programme Alimentaire Mondial

Via C.G.Viola 68, Parco dei Medici

00148 - Rome - Italy

www.wfp.org

PNUD

Programme des Nations Unies pour le développement

One United Nations, Plaza New York

NY 10017 - États-Unis

Fax : 212 906 53 64

www.undp.org

PNUE

United Nations Environment Programme

United Nations Avenue, Gigiri, PO Box 30552,

Nairobi, Kenya

Tél : 254 2 621 234 - Fax : 254 2 624 489/90

OIF

Organisation internationale de la Francophonie

28, rue de Bourgogne

75007 Paris - France

Tél : +33 1 44 11 12 50- Fax : +33 44 11 12 76

courrier électronique : oif@francophonie.org

www.francophonie.org

Associations et ONG régionales

Afrique

ENDA

Environnement et développement

du Tiers Monde

4 et 5, rue Kléber BP 3370, Dakar, Sénégal

www.enda.sn

FRAO

Fondation rurale de l'Afrique de l'Ouest

Allée Seydou Nourou Tall - CP 13 - Dakar Fann -

Dakar Sénégal

www.frao.org

INADES

Institut africain pour le développement économique et social

15, avenue Jean Mermoz - Cocody - 08 B.P 8

Abidjan 08 - Côte d'Ivoire

www.inades.ci.refer.org

ROPPA

Réseau des organisations paysannes

et de producteurs d'Afrique de l'Ouest

ROPPA c/o CNCR Boulevard de l'Est x Rue 2,

Point E - Dakar - Sénégal

www.cncr.org/roppa

Amérique latine et Caraïbes

CAMAREN

Consortium pour la formation et la gestion durable des ressources en zone andine

Av. Amazonas Eloy

Alfara Edif – MAG7 mo piso, Quito - Ecuador

www.camaren.org

Grupo CHORLAVI

Groupe de systématisation et d'échanges en analyse comparative, méthodes et outils de développement rural en Amérique centrale et Caraïbes

C/o RIMISP, Casilla 228, Correo 22, Santiago, Chili

www.grupochorlavi.org

RIMISP

Réseau interaméricain sur les méthodes

de recherches en système de production

Casilla 228, Correo 22, Santiago, Chili

rimisp@rimisp.cl - www.rimisp.org

RURALTER

Programme régional de capitalisation

d'expériences et diffusion de méthodologies

pour la formation des acteurs du développement

rural en région andine

c/o CICDA, Edificio Turismundial 3^{ème} Piso

Ramirez Davalos 117 y Amazonas, Quito, Ecuador

www.ruralter.org

Collectifs et réseaux d'ONG françaises et européennes

ACDE

Association conseil pour le développement : collectif d'ONG sur le financement du développement à partir du traitement de la dette et sur les programmes financés par la Banque mondiale et les banques régionales de développement
14, passage Dubail - 75010 Paris. France
www.coordinationsud.org/appui/financement/acde.html

CFSI

Comité français pour la solidarité internationale : fédération de 32 organisations de la société civile française
32, rue Le Peletier 75009 Paris - France
www.cfsi.asso.fr

CLONG Volontariat

regroupement des associations intéressées par la question du volontariat de solidarité internationale
14, passage Dubail - 75010 Paris - France
www.coordinationsud.org/coordsud/membres/clongv.html

Coordination Sud

Coordination nationale des ONG françaises d'action humanitaire et d'aide au développement
14, passage Dubail - 75010 Paris - France
www.coordinationsud.org/index.html

CRID

Centre de recherche et d'information pour le développement : regroupement de 45 associations de solidarité internationale
14, passage Dubail - 75010 Paris - France
www.crid.asso.fr

Inter-réseaux

Lieu de débats et d'échange d'expériences, spécialisé dans la coopération en matière de développement rural des pays du Sud
32, rue Le Peletier 75009 Paris - France
www.inter-reseaux.org/index.html

RONGEAD

Réseau d'ONG européennes sur l'agroalimentaire, le commerce, l'environnement
14 rue Antoine Dumont 69372 Lyon Cedex 08 France
www.rongead.org

Organismes de recherche et de formation français

AFSSA

Agence française de sécurité sanitaire des aliments
23, avenue du Général de Gaulle
BP 19 94701 Maisons-Alfort
www.afssa.fr

CEMAGREF

Recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
Parc de Tourvoie BP 44 92163 Antony Cedex
www.cemagref.fr

CIRAD

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
42, rue Scheffer 75116 Paris
www.cirad.fr

CNEARC

Centre national d'études agronomiques des régions chaudes
1101, avenue Agropolis
BP 5098 - 34033 Montpellier Cedex 01
www.cnearc.fr

CNRS

Centre National de la Recherche Scientifique
3, rue Michel - Ange 75794 Paris Cedex 16
www.cnrs.fr

INRA

Institut national de la recherche agronomique
147, rue de l'Université 75338 Paris Cedex 07
www.inra.fr

IRD (anciennement ORSTOM)

Institut de recherche pour le développement
213, rue La Fayette 75480 Paris Cedex 10
www.ird.fr

Organismes internationaux de recherche

CGIAR

Consultative Group on International Agricultural Research
CGIAR Secrétariat – The World Bank
MSN G 6 – 601, 1818 H Street NW
Washington, DC 20433 Etats Unis
www.cgiar.org

CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
A.A. 6713 - Cali, Colombie
www.ciat.cgiar.org

CIFOR

Center for International Forestry Research
Po Box 6596, JKPWB Jakarta 10065 Indonésie
www.cifor.cgiar.org

CIMMYT

Centro Internacional de Mejoramiento
de Mais y Trigo
Apdo Postal 6 - 641 06600 Mexico, D.F. Mexique
www.cimmyt.org

CIP

International Potato Center
Po Box 1558 Lima 12 Pérou
www.cipotato.org

ICARDA

International Center for Agricultural Research
in the Dry Areas
Po Box 5466 Aleppo Syrie
www.icarda.cgiar.org

ICLARM

World Fish Center Global Headquarters
Julan Batu Maung, Batu Maung
11960 Bayan Lepas
Penang, Malaisie
www.iclarm.org

ICRAF

International Centre for Research in Agroforestry
Po Box 30677 Nairobi Kenya
www.icraf.cgiar.org

ICRISAT

International Crops Research Institute for the
Semi-Arid Tropics
Patancheru 502 324 Andhra Pradesh, Inde
www.icrisat.org

IFPRI

International Food Policy Research Institute
2033 K Street, NW Washington, DC 20006
1002 USA
www.ifpri.org

ILRI

International Livestock Research Institute
ILRI – Kenya, Old Naivasha Road
PO Box 30709, Nairobi 00100 Kenya

ILRI – Ethiopia

PO Box 5689, Addis Ababa Ethiopie
www.cgiar.org/ilri

IPGRI

International Plant Genetic Resources Institute
Via dei Tre Denari 472/A 00057 Maccarese
(Fiumicino) Rome Italie
www.ipgri.cgiar.org

IRRI

International Rice Research Institute
DAPO Box 7777 Metro Manila Philippines
www.irri.org

ISNAR

International Service for National Agricultural
Research
Po Box 93375 - 2509 AJ The Hague Pays - Bas
www.isnar.cgiar.org

IWMI

International Water Management Institute
Po Box 2075 Colombo Sri Lanka
www.iwmi.org

WARDA/ADRAO

West Africa Rice Development Association
01 BP 2551 Bouake 01 Côte d'Ivoire
www.warda.cgiar.org

Organismes régionaux de recherche

Afrique

ASARECA

Association of Strengthening Agricultural
Research in Eastern and Central Africa
Po Box 765 Entebbe Ouganda
www.asareca.org

CORAF

Conseil Ouest et centre africain pour la
recherche et le développement agricole
7, avenue Bourguiba BP 8237 Dakar Yoff Sénégal
www.coraf.org

SACCAR

Southern African Center for Cooperation
in Agricultural Research
Private Bag 00108 Gaborone Botswana

Amérique latine

CARDI

Agricultural Research and Development Institute
University Campus St. Augustine Trinidad West
Indies
www.cardi.org

CATIE

Centro Agronomico Tropical de Investigacio
y Ensenanza
7170 Turrialba Costa Rica
www.catie.ac.cr/catie

IICA

Instituto Inter-Americano de Cooperacion
para la Agricultura
Po Box 55 - 2200 San Isidro de Coronado,
San Jose, Costa Rica
www.iicanet.org

Annexe 3. Index

A

- abaca (*Musa textilis*) 1159
- abattage (animal) 1302
- abattis-brûlis 334, 411, 412, 414, 608
- Abelmoschus esculentus* (gombo) 1035
- ablation 562
- abrasin (*Aleurites fordii*) 1203
- abreuvement 1341
- abricotier des Antilles (*Mammea americana*) 999
- acacia (*Acacia decurrens*) 1223
- Acacia decurrens* (acacia) 1223
- accès
 - à la terre 202, 210, 214, 349
 - au crédit 401
 - au foncier 55, 202, 335, 401
 - aux ressources renouvelables 210
- Achatina* (escargot) 1627
- acide
 - cyanhydrique 737, 816, 848, 874
 - ricinoléique 1215
- acidité (du sol) 607
- activité non agricole 58
- acuminé 1233
- ados 245
- adventice voir aussi mauvaise herbe ... 413, 543
 - définition 663
- adventif 1233
- aérogénérateur 769
- Aeschynomene histrix* (poiret) 1141
- Agave* (sisal) 1181
- agent
 - de développement 393
 - de vulgarisation 191
- agouti voir aulacode
- agrégat du sol 454
- agriculteur-expérimentateur 529
- agriculture familiale voir exploitation agricole
- agroforesterie 636
- agroforêt 414
- aide à la décision 403
- ail (*Allium sativum*) 1026
- albédo 434
- albumen 719, 1233
- Aleurites cordata* (aleurites du Japon) 1203
- Aleurites fordii* (abrasin) 1203
- Aleurites moluccana* (noyer de Bancoul) ... 1203
- aliment concentré voir aussi
 - sous-produit agroindustriel ... 1294, 1403
- alimentation animale 1327
 - monogastrique (porc et volaille) 1292
 - 1293, 1493
 - poisson 1589
 - ruminant 1271, 1346, 1398
 - système (d') 1267
- alimentation hydrique 493, 584
- allèle 568
- allélopathie 548, 670
- allicine 1026
- Allium ampeloprasum* (poireau) 1042
- Allium cepa* (échalote) 1034
- Allium cepa* (oignon) 1037
- Allium sativum* (ail) 1026
- allogame 1233
- allogamie 568, 1133
- amarante (*Amaranthus*) 1027
- Amaranthus* (amarante) 1027
- aménagement
 - anti-érosif 239, 251
 - coût 297
 - de bas-fond 297, 300
 - conception 308
 - exploitation 304
 - techniques 311
 - enjeu foncier (de l') 219
 - observation 51, 53
- amendement
 - calcique 623
 - inorganique 635
 - organique 634
- amortissement économique 370
- amphidiploïde 570
- anacardier (*Anacardium occidentale*) 941
- Anacardium occidentale* (anacardier) 941
- analyse
 - économique 1251
 - statistique 341, 524
 - végétale 603
 - zootechnique 1251, 1254
- ananas (*Ananas comosus*) 945
- Ananas comosus* (ananas) 945
- anaplasnose 1364
- Andropogon gayanus* 1142
- Andropogon muricatus* voir vétiver
- anémie 1445
- anémogame 1233
- anérophile voir anémogame
- animal
 - de trait 751
 - de travail 1448
 - domestique 1395, 1618
 - espèce non conventionnelle (ENC) ... 1617
 - sauvage 1618
- anis étoilé (*Illicium verum*) 1091

annone.....	999
anoxie.....	652, 1233
anthère.....	1233
anthocyane.....	1233
anthrax <i>voir</i> charbon bactérien	
antidote.....	685, 713
antiseptique.....	1383
aoûté.....	1233
apomixie.....	568, 1133, 1233
appétibilité.....	1407
apprentissage.....	185
approche	
– agro-écologique.....	1278
– participative.....	383
– phytosociologique.....	1278
appropriation foncière.....	52, 213, 264
aquaculture.....	1571
arachide (<i>Arachis hypogaea</i>).....	879
– variétés multipliées.....	882
– produit et sous-produit.....	879
– sensibilité à l'acidité.....	882
arachide fourragère (<i>arachis pintoï</i>).....	1143
<i>Arachis hypogaea</i> (arachide).....	879
<i>Arachis pintoï</i> (arachide fourragère).....	1143
arbre à encens (<i>Boswellia carteri</i>).....	1204
arbre à objectifs.....	81
arbre à pain (<i>Artocarpus incisa</i>).....	831
argile.....	455
arille1233	
aristé.....	1233
<i>Artocarpus incisa</i> (arbre à pain).....	831
aspersion mécanique.....	288
assimilat.....	494
association agriculture élevage.....	365
.....	417, 419, 1242
association culturale.....	354, 414, 426, 544, 547
– définition.....	537
– gestion (de l').....	548
– protection des cultures.....	696
– rendement.....	550
association d'irrigants.....	281
assolement.....	364
attiéké <i>voir</i> manioc	
attractif sexuel.....	700
aubergine (<i>Solanum melongena</i>).....	1029
aubier.....	1233
aulacode (<i>Thryonomys swinderianus</i>).....	1630
autogamie.....	568, 1133, 1233
autruche (<i>Struthio camelus</i>).....	1639
auxiliaire (de lutte biologique).....	685, 698
aviculture traditionnelle.....	1555
avocatier (<i>Persea americana</i>).....	952
avortement.....	1420, 1436
axillaire.....	1233
<i>Azadirachta indica</i> (neem).....	1200

azadirachtine.....	1200
azote	
– besoin des plantes.....	492
– cycle.....	605
– minéralisation.....	604

B

babaco (<i>Carica heilborni</i>).....	1000
babésiose.....	1364
bactériostatique.....	685
badamier (<i>Terminalia catappa</i>).....	1013
badiane <i>voir</i> anis étoilé	
bagasse.....	1109
balance de relation.....	571
banane (<i>Musa</i>).....	960
– valeur alimentaire.....	962
bancoulier.....	1203
bande enherbée.....	249
banque de développement.....	157
banque fourragère.....	1136, 1347
banquier ambulancier.....	159
barbadine.....	1006
bardot.....	753
barrage.....	312
barymétrie.....	1440
bas-fonds.....	297
base de données	
– climat.....	444
– élevage.....	1249
– pesticide.....	703
base de sondage.....	32, 341
<i>Basella alba</i> (baselle).....	1030
baselle (<i>Basella alba</i>).....	1030
battage.....	718, 723
bêche.....	597, 598
benjoin (<i>Styrax</i>).....	1205
besoin des plantes	
– en azote.....	492
– en eau.....	436, 653, 656
– en élément minéral.....	601
– en engrais.....	639
besoin de l'animal.....	1327
– bovin.....	1410, 1450
– caprin.....	1465
– cheval.....	1475
– dromadaire.....	1471
– lapin.....	1479
– ovin.....	1461
– poisson.....	1588
– porc.....	1493
– volaille.....	1537
beurrier.....	1062
bibasse.....	1012
bigaradier (<i>Citrus aurantium</i>).....	931
bilan énergétique.....	439
bilan fourrager.....	1268, 1276

- déséquilibre 1269
- paramètre 1269
- bilan hydrique
 - amélioration 652, 654
 - analyse fréquentielle 651
 - calcul 649
 - évaluation 645
 - simulation 650
 - équation 643
- bilan minéral 633
- bilan radiatif 433
 - équation 434
- binage 757
- bineuse-sarcluse 764
- bio-pesticide 702
- biocénose 685
- biogaz 769
- biomasse 433, 436, 584, 770
- bioprotection 685
- biotechnologie 686
- biotique 688
- bipenné 1233
- bissap *voir* roselle
- Bixa orellana* (rocouyer) 1228
- blé (*Triticum*) 777
- bois de santal (*Pterocarpus santalinus*) 1224
- boiserie 1435
- Bombax* (kapokier) 1173
- Borassus aethiopicum* (rônier) 1178
- Borassus flabellifer* (palmier à sucre) 1122
- Boswellia carteri* (arbre à encens) 1204
- boucanage 1305
- bourgeon axillaire 486
- bouturage 576, 1130
- bovin
 - besoin alimentaire 1410
 - capacité de travail 1447, 1448
 - de trait 1449, 1450, 1453
 - type d'animal 1428, 1437
- Brachiaria mutica* (herbe de para) 1147
- bractée 1233
- Brassica campestris* (chou chinois) 1032
- Brassica oleracea* (choux) 1032
- brebis
 - besoin nutritionnel 1461
 - production de lait 1458
- brise-vent 439, 656
- broyage 730
- brucellose 1368, 1435
- buttage 757
- Butyrospermum* (karité) 1210
- C**
- C3 (*plante*) 487
- C4 (*plante*) 487, 491
- cabosse 1051, 1052
- cacao (*fève*)
 - fermentation 1061
 - séchage 1061
- cacaoyer (*Theobroma cacao*) 1051
- cacaoyère 555
 - diagnostic-sol 1057
 - fertilisation 1056
 - mise en place 1055
 - replantation 1055
 - taille 1056
- cachemire 1465
- cactus fruit 1001
- cadavre 1383
- cadre de concertation 113
- café (*cerise*)
 - dépulpage 1075
 - séchage 1074
- caféier (*Coffea canephora* et *Coffea arabica*) 1063
- caféière 554, 1068
 - fertilisation 1072
 - mise en place 1069
 - taille 1070
- caféine 1063, 1085
- cahier des charges 83, 179, 184
- caïmitier (*Chrysophyllum caini*) 1002
- caisse de solidarité 158
- Cajanus Cajan* (pois d'Angole) 872, 1151
- cal 1233
- calcium 620
 - carence 607
- calendrier 50, 65, 366
 - alimentaire 367
 - de travail 367
 - de trésorerie 368
 - fourrager 367, 1272
- Calopogonium mucunoides* 1144
- calorie 747
- Camelia sinensis* (théier) 1085
- campêche (*Heamatoxylon campechianum*) 1225
- camphrier (*Cinnamomum camphora*) 1205
- canard 1566
- cancérogène 686, 712
- canna comestible (*Canna edulis*) 834
- Canna edulis* (canna comestible) 834
- canne à sucre (*Saccharum*) 1109
- cannelier (*Cinnamomum verum*) 1092
- cannelle *voir* cannellier
- caoutchouc 1187, 1195
- capacité
 - de charge *voir* taux de charge
 - d'échange cationique (CEC) 611
 - d'ingestion 1407
 - de trait 1448
- capital d'exploitation 324, 326

capital fixe	
– immobilisation	349
capitalisation-décapitalisation	350, 372
<i>Capsicum annuum</i> (poivron)	1043
<i>Capsicum frutescens</i> (piment)	1041
capsule	1233
captage des eaux	292
capteur	
– aérien	485
– souterrain	485, 493
carambolier (<i>Averrhoa carambola</i>)	1002
carboxylation	487
carburant de substitution	770
carcasse	1437
– découpe (de la)	1438
– poids (de)	1437
cardamome (<i>Elletaria cardamomum</i>)	1093
carence minérale	
– animal	1283
– calcium	607
– magnésium	607
– phosphore	606
– plante	601
<i>Carica papaya</i> (papayer)	994
carpe	1572, 1576
carpelle	1233
carpophage	1233
carte	40
– de terroir	227
– géologique	41
– topographique	40, 61
carthame (<i>Carthamus tinctorius</i>)	892
<i>Carthamus tinctorius</i> (carthame)	892
caryopse	1233
cassave voir manioc	
<i>Cassia rotundifolia</i>	1145
castration	1452
<i>Catharantus roseus</i> (pervenue de Madagascar)	1214
cédratier (<i>Citrus média</i>)	931
<i>Ceiba</i> (kapokier)	1173
endre	629
centre de services	194
céréale	717
– conservation	
• diagramme (de)	721
– récolte	717
– stockage	719, 722, 724
– transformation	727
cerise tropicale	1003
cespiteux	1233
chaleur (<i>période</i>)	1331, 1419
– synchronisation	1334
<i>Chamaecrista rotundifolia</i> voir <i>Cassia rotundifolia</i>	
chamelle	1469
– production de lait	1470
chanvre de manille voir abaca	
charbon	
– bactérien	1369, 1380
– symptomatique	1369
charge animale	1255
charrette	
– charge utile	754
charrue	597, 756
châtaignier tropical voir arbre à pain	
Chayanov	326
chayotte (<i>Sechium edule</i>)	1031
chérimole	999
cheval	1473
– besoin nutritionnel	1475
cheval (<i>unité de puissance</i>)	747
chèvre	1463
<i>Chloris gayana</i> (herbe de Rhodes)	1148
chlorose ferrique	608
<i>Choruscapsularis</i> (jute)	1172
chou (<i>Brassica</i>)	1033
chou chinois (<i>Brassica campestris</i>)	1032
chouchoute voir chayotte	
choux (<i>Brassica oleracea</i>)	1032
christophine voir chayotte	
<i>Chrysanthemum</i> (pyrèthre)	1201
<i>Cinchona ledgeriana</i> (quinquina)	1214
<i>Cinnamomum camphora</i> (camphrier)	1205
<i>Cinnamomum verum</i> (cannelier)	1092
cinquième quartier	1305
citral	1212
citronnelle (<i>Cymbopogon</i>)	1206
citronnier (<i>Citrus limon</i>)	931
<i>Citrus aurantifolia</i> (limettier)	931
<i>Citrus aurantium</i> (bigardier)	931
<i>Citrus grandis</i> (pamplemoussier)	933
<i>Citrus limon</i> (citronnier)	931
<i>Citrus média</i> (cédratier)	931
<i>Citrus paradisi</i> (pomemos)	933
<i>Citrus sinensis</i> (oranger)	932
claie	723
cléistogame (<i>fleur</i>)	568
cléistogamie	1233
climat	
– base de données	433
– changement du	433, 437
– définition	437
– équatorial	444
– paramètres du	436
– tropical	446
clone	568
clou de girofle voir giroflier	
coccidiose	1482
<i>Cocos nucifera</i> (cocotier)	893
cocotier (<i>Cocos nucifera</i>)	893
code pastoral	267
<i>Coffea arabica</i> (caféier)	1063

- Coffea canephora* (caféier) 1063
Coix lacryma jobi (larmes de job) 825
Cola acuminata (kolationier sauvage) 1077
colibacillose 1380
collectivité décentralisée 235
Colocasia esculenta (taro) 859
Commelina benghalensis
– déserbage 682
Commiphora (myrrhe) 1213
compétition
– agriculture-élevage 1272, 1273
complément minéral et vitaminique (CMV) 1537
complémentation 1283, 1284, 1346, 1411
– additif 1296
– calcul 1413
– en minéral 1413
– en phosphore 1284
– minérale et vitaminique 1296
voir aussi prémix 1497
– sur parcours 1344, 1414
complexe adsorbant 454, 457
comportement (*individu*) 330
compost 614
concrète 1234
conduite en bande 1516
confiture 743
conseil
– de gestion 176, 190
– individuel 400
conservation
– de la viande 1305
– du lait 1307
– fruit-légume 739
– oeuf 1310
contrat
– cadres 82
– d'objectifs 82
– de fumure 415
convention internationale 268
Coopec voir coopérative de crédit 160
coopérative 160
– d'épargne 160
– de crédit 160
coprah 893
coqueret du Pérou (*Physalis peruviana*) 1004
Corchorus olitorius (jute) 1172
cordon pierreux 244
corme 1234
corossol 999
Corymbia citriodora voir *Eucalyptus citriodora*
cossette 737, 841, 849
cotonnier
– mode d'implantation (*exemple*) 506
– temps de travaux 501
cotonnier (*Gossypium*) 1160
– protection intégrée 1169
couverture pédologique 447
cowdriose 1366
crédit 155
– accès (au) 401
– agricole 155
– aux organisations paysannes 167
– coopérative (de) 160
– épargne-crédit 156
– fongibilité (du) 167
– garantie 171
– micro-crédit 157
– ouvert 167
– rural 155, 166, 170
– solidaire 161
crib 727
critère d'évaluation de projet 105
crocodile (*Crocodylus*) 1636
Crocodylus (crocodile) 1636
croisement 1396, 1488
– diallèles 571
– hiérarchique 571
croissance
– cellulaire 486
– déterminée (plante à) 497, 1234
– facteur (de) 494
– indéterminée (plante à) 497, 1234
croît numérique 1259
cuir 1312
cultivateur à dents 598
cultivateur rotatif 599
culture
– associée 419, 420, 421, 636
• définition 537
• effet sur les ravageurs 550
• fonctionnement 544
• rendement 550
– conduite (de la) 502
• définition 538
– de bas-fond 304
– effet précédent (de la) 539
– fourragère 420, 1127, 1401
– matière organique (sous) 612
– mode d'implantation (*exemple*) 504
– multiple
• définition 538
– pérenne 553
• densité de plantation 554
• entretien 561
• renouvellement 557
– pure
• définition 537
– répartition dans le temps 353
– sous ombrage 545
culture *in vitro* 581
curcuma (*Curcuma domestica*) 1094
Curcuma domestica (curcuma) 1094
curing 735
curuba 1006

cycle de l'eau	437
cycle familial	324
<i>Cymbopogon</i> (citronnelle)	1206
<i>Cymbopogon</i> (lemongrass)	1212
cyprinidé voir aussi carpe	1572
cystercose	1363, 1380

D

date de semis	693
décombant	1234
décompacteur	596
décortiqueur	719, 728, 809
décortiqueur	728
défrichage	249, 414
dégermage	719
dégradation de l'environnement	432, 1314, 1317
déhiscent	1234
démarche participative	75
dermatophilose contagieuse	1370
derris (<i>Derris elliptica</i>)	1199
<i>Derris elliptica</i> (derris)	1199
désengagement de l'Etat	114
dés herbage	
– coût	671
– espèce vivace	682
désinfectant	1549
désinfection	1382
– bâtiment d'élevage	1547
développement	
– local	76, 234
– rural	231
diagnostic	46, 47, 184, 1273
– concerté	184
– croisé	227
– de formation	184
– définition	27, 187
– diagnostic-sol (cacaoyère)	1057
– hydraulique (bas-fond)	307
– initial	28
– local	46
– participatif	389
– phytosanitaire	688
– rapide	31
• pré-aménagement	308
– système d'élevage	1246, 1251, 1268
dichogamie	559, 952
<i>Digitaria exilis</i> (fonio)	824
digue filtrante	313
dindon (<i>Meleagris gallopavo</i>)	1566
dioïque (espèce)	559, 1234
<i>Dioscorea</i> (igname)	834, 835
dispositif de suivi	94
dispositif expérimental	519
dolique (<i>Lablab purpurens</i>)	1145
données statistiques	42
dormance	1234

dose létale (DL)	686
drainage	291, 636, 648
dressage	1451
droit de propriété ou d'usage	56
dromadaire	1467
drupe	1234
durian (<i>Durio zibethinus</i>)	1004

E

eau	
– besoin des plantes	436
– cycle (de)	437
– du sol	583, 586, 643, 648, 656
• réserve utile	648
– efficacité	491
– pollution	1315
échalote (<i>Allium cepa</i>)	1034
échantillonnage	32, 341
échaudage	495
<i>Echinochloa crus-galli</i> (panic)	827
écimage	562
écosystème	686
effet	
– d'hétérosis	1339, 1397
– de serre	434, 437, 1321
– non intentionnel	686
efficacité	
– de conversion du rayonnement	490
– de l'eau	491
égourmandage	561
égreneuse	718
<i>Elaeis guineensis</i> (palmier à huile)	906
élagage	562
élément minéral	542, 601
– exportation	630, 632
• calcul	632
– réponse de la plante	602
élément minéral voir aussi nutrition minérale	493
éleusine (<i>Eleusine corocana</i>)	823
<i>Eleusine corocana</i> (éleusine)	823
élevage	
– à l'herbe	1316
– bovin	
• extensif	426
• transhumant	415
– d'espèce non conventionnelle	1619
– de canards	424
– hors-sol	1244, 1487
– intensif	1316
– mixte	1316
– nomade	1241
– péri-urbain	1243
• laitier	1243
– sédentaire	1241
– suivi (d')	1248, 1520
– transhumant	1241
– type (d')	57
élevage et environnement	1314

<i>Elletaria cardamomum</i> (cardamome)	1093
embouche	1243, 1443
émission de gaz	1316
enclos de stabulation	758
énergie	
– bilan (d')	434
– éolienne	769
– hydraulique	771
– renouvelable	768
– solaire	
• photovoltaïque	768
• thermique	768
– unité (d')	747
engrais	615
– apport	640
– approvisionnement	624
– azoté	616
– complexe ; composé	621
– dose	638
– formule	622, 639
– phosphaté	617
– pollution	641
– potassique	619
– unité	616
– utilisation	638
– vert	637, 1144
enherbement	413, 542, 665, 669, 695
– maîtrise (de l')	542, 674
enquête	33, 342, 343
enracinement	547, 584, 586, 591, 653
<i>voir aussi</i> système racinaire, racine	
ensilage	1137
entérotoxémie	1445
entomogame	1234
entomopathogène (<i>agent</i>)	698, 699
entomophage (<i>agent</i>)	686
entomophile <i>voir</i> entomogame	
entreprise agricole	322
entretien	37
environnement	
– dégradation	1314
– indicateur	1323
– préservation	1318
éolienne	769
épargne-crédit	156, 160
épidémiosurveillance	1358
épiderme	1234
épillet	1234
<i>Eragrostis tef</i> (teff)	828
érosion	
– technique de lutte	250, 636
escargot (<i>Achatina</i>)	1627
espèce (<i>animal</i>)	1396
ETO <i>voir</i> évapotranspiration	
étable	1424
étang de pisciculture	1590, 1602
ETM <i>voir</i> évapotranspiration	
<i>Eucalyptus citriodora</i>	1207
<i>Eucalyptus globulus</i>	1207
évaluation	
– endogène	101
– ex-ante	101
– exogène	102
évaporation	
– réduction (de l')	655
évapotranspiration	436, 439, 443, 644
– potentielle	646
évolution des sols	479
expérimentation	
– collégiale	514
– consultative	514
– en milieu élèveur	1250
– en milieu paysan	
• définition	511
• démarche	511
– paysanne	515, 528
• définition	530
exploitation agricole	169, 321
– assolement	364
– capital	324
– capitaliste	339
– diversité	46
– familiale	322, 327
– financement	169
– fonctionnement	324, 345
– force de travail <i>voir</i> main-d'œuvre	
– gestion technico-économique	345, 348
– histoire	350
– main-d'œuvre	59, 323, 333, 349
– marchande	338
– minifundiaire	338
– patronale	339
– performance économique	369
– revenu agricole	372
– trajectoire d'évolution	215, 342, 343
– type (d')	338
– typologie	331
F	
facteur	
– de croissance	494
– de production	45, 322
fasciculé (système racinaire)	1234
fascine	246
fasciolose	1362
faune	261
– exploitation (de la)	1617
– ranch (de)	1623
– du sol	593
fécondité (<i>animal</i>)	1257
fécule	850
feijoa <i>voir</i> goyave-ananas	
fermage	323

fertilité	327, 451, 464
– définition	540
– gestion (de la)	56, 365, 366, 627
– transfert (de)	421, 631, 632
fertilité (<i>animal</i>)	1257, 1422
feu	263, 629, 1400
fève de cacao <i>voir cacao</i>	
fibre végétale	1157
<i>Ficus carica</i> (figuier)	1005
fiente	1532, 1559
fièvre	
– aphteuse	1370
– catarrhale	1368
– de Malte	1368
– Q	1380
figue de Barbarie	1001
figuier (<i>Ficus carica</i>)	1005
filière	
– forestière	266
– laitière	1431
finage	223
financement	155
– des exploitations agricoles	155, 169
– du développement rural	155
floculation	455
flore (<i>ouvrage</i>)	668
foin	1136
foliole	1234
foncier	201, 322
– accès (au)	55
– capital	323, 327
– code	267
– conflit	218
– définition	201
– diagnostic	205
– droit	201, 204, 211
– pastoral	267
– patrimoine	327
– pratique	206
– statut	220, 282, 303, 308, 348
– système coutumier (ou local)	201, 202
	211, 216
fonds de garantie	173
fongibilité du crédit	166
fongicide	707
– minéral	707
– organique	708
• carbamate	705
• dérivés du benzène	704
fonio (<i>Digitaria exilis</i>)	824
forêt	257
formation	187
– action (de)	187
– concept	179
– diagnostic	184
– et visite	189, 383
– ingénierie (de la)	179
formule d'engrais	622

formule de Penman	435
fosse pédologique	452
fouillage	1136, 1398
– carence en phosphore	1284, 1329
– consommation	1329
– ligneux	1400
– teneur en matière azotée	1285
– valeur alimentaire	1407, 1408
fouillé	258
frigorie	747
front pionnier	426, 553
fruit - légume	
– conservation	739
– transformation	742
fruit de la passion	1006
fumaison	1305
fumier	614, 634

G

gabion	247
gain moyen quotidien (GMQ)	1255, 1441
<i>Gallus domesticus</i> (poulet)	1529
game	
– farming	1618
– ranching	1618, 1622
<i>Garcinia mangostana</i> (mangoustancier)	1011
gari <i>voir manioc</i>	
gazogène	770
gelée royale	1311
génotype	1335
géomorphologie	47
géranium (<i>Pelargonium</i>)	1208
germe	719
gestion	
– de la fertilité	56, 365, 366
– de périmètre irrigué	278
– de terroir	225, 227
– des parcours	260
– du territoire	234
– foncière	266
– pâturage	1400
gibier	1618
gingembre (<i>Zingiber officinale</i>)	1094
girofler (<i>Syzygium aromaticum</i>)	1095
glossine (mouche tsé-tsé)	1366
glume (glumelle)	1234
<i>Glycine max</i> (soja)	919
gombo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	1035
<i>Gossypium</i> (cotonnier)	1160
gossypol	1160
goyave-ananas (<i>Feijoa sellowiana</i>)	1005
goyavier (<i>Psidium guajava</i>)	1007
grain	
– altération	721
– broyage	730
– conservation	720

– décortilage	728
– humidité	717
– nu	719
– qualité	717
– traitement	725
– vêtu	719
graine oléagineuse	731
– dégradation	733
– maturité	732
– séchage	733
– stockage	733
<i>Grameen Bank</i>	161
graminée fourragère	413, 1133, 1134, 1142
	1146, 1147, 1148, 1152
grand millet <i>voir</i> millet commun	
greffage	578
grenadelle	1006
grenadier (<i>Punica granatum</i>)	1008
grenier	724
groupement d'intérêts économiques (GIE)	766
guarana (<i>Paullinia cupana</i>)	1076
guayule (<i>Parthenium argentatum</i>)	1185
guero <i>voir</i> mil	

H

haploïde	573
haricot de Lima <i>voir</i> pois du Cap	
haricot vert (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	865
<i>Heamatoxylon campechianum</i> (campêche)	1225
<i>Helianthus annuus</i> (tournesol)	925
héliographe	442
henné (<i>Lawsonia</i>)	1225
herbe	
– digestibilité	1279
– hauteur (d')	1278
– qualité (de l')	1278
– quantité sur pied	1279
– volume (biovolume)	1278
herbe de Guinée (<i>panicum maximum</i>)	1146
herbe de Para (<i>Brachiara mutica</i>)	1147
herbe de Rhodes (<i>Chloris gayana</i>)	1148
herbicide	676
– application	504, 678
– définition (<i>termes associés aux</i>)	677
héritabilité	570, 1336
hermaphrodite (<i>fleur</i>)	1234
herse	599, 600, 756
hétérotrophie	493
hétérozygotie	572
hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>)	1187
<i>Hevea brasiliensis</i> (hévéa)	1187
hévéculture	1189
<i>Hibiscus cannabinus</i> (kenaf)	1175
<i>Hibiscus sabdariffa</i> (roselle)	1179

histoire agraire	206
horizon du sol	452
humidité du sol	592, 643, 648
<i>voir aussi</i> eau du sol	
humus	610
hybridation	1396
hybride	573
hydromel	1311
hydroponique (<i>culture</i>)	1234
hypocotyle	1234

I

igname (<i>Dioscorea</i>)	834
– groupe variétal	836
– principaux ravageurs	840
<i>Ilex Paraguayensis</i> (maté)	1079
<i>Illicium verum</i> (anis étoilé)	1091
immatriculation foncière	204, 233
inbreeding	568
incompatibilité	1234
indicateur biologique	686
indice	
– de consommation	1255, 1536
– de nutrition azotée	492
– de surface foliaire (LAI)	489, 646
<i>Indigofera</i> (indigotier)	1226
indigotier (<i>Indigofera</i>)	1226
infection	686
infestation	686
ingestibilité	1407
innovation	
– condition d'adoption	376, 385, 404
– définition	373
– diffusion (de l')	27, 379, 346, 375, 380, 533
– endogène	381
– exogène	375
– pertinence	386
– risque	377
– test	394
insecticide	704
– biologique	699
– carbamate	705
– organo-chloré	707
– organo-phosphoré	704
– pyréthrine	706
– pyréthrianoïde	706
insémination artificielle	1331, 1423
– technique	1332
institution financière	162
intensification	750
intensification agricole	430
intervention de l'Etat	73, 209, 218
intervention de terrain	75
– type (d')	77
intoxication (<i>pesticide</i>)	711
introgression	1234

involucre	1234
<i>Ipomoea batatas</i> (patate douce)	850
irrigation	273, 645
– coût	276
– efficacité	286
– gravitaire	287
– par tour d'eau	279, 293
– réseau (d')	293
– techniques	292
itinéraire technique	351, 355, 583
– choix (d'un)	508, 509
– définition	501

J

jachère	629
– définition	412, 538
– durée (de la)	412
– fonction	540, 542, 543
– réserve minérale (sous)	609
jacquier	1009
jamalac voir poire d'eau	
jamblong (<i>Syzygium cumini</i>)	1009
jardin de case	345
jardin fourrager voir banque fourragère	
jojoba (<i>Simmondsia chinensis</i>)	1209
joule (J)	747
jujubier (<i>Ziziphus mauritiana</i>)	1010
jungle rubber	556
jus de fruit	743
jute (<i>Corchorus capsularis</i> , <i>Corchorus olitorius</i>)	1172
jute du Siam voir roselle	

K

kapokier (<i>Ceiba</i> et <i>Bombax</i>)	1173
karité (<i>Butyrospermum</i>)	1210
kénaf (<i>Hibiscus cannabinus</i>)	1175, 1180
kilowattheure	747
kolatier sauvage (<i>Cola acuminata</i>)	1077
korocan voir éleusine	
kumquat	931

L

<i>Lablab purpureus</i> (dolioque)	1145
labour	672, 756
<i>Lactuca sativa</i> (laitue)	1036
ladrerie bovine	1363
laine	1311
lait	
– caillé	1306
– composition	1309
– conservation	1307
– contamination	1308
– contrôle de la qualité	1307
– de chèvre (/brebis)	1464
– jument	1474
– qualité	1436
laitue (<i>Lactuca sativa</i>)	1036

lancéolé	1234
larmes de job (<i>Coix lacryma jobi</i>)	825
latex	1188, 1193
– coagulum, coagulation	1194
<i>Lawsonia alba</i> (henné)	1225
légumineuse fourragère	1134, 1141, 1143
.....	1144, 1145, 1149, 1151
lemongrass (<i>Cymbopogon</i>)	1212
lignée (animal)	1396
lignée pure	572
limettier (<i>Citrus aurantifolia</i>)	931
lint voir coton	
lisier	1492
listériose	1380
litchi (<i>Litchi chinensis</i>)	975
<i>Litchi chinensis</i> (litchi)	975
loi du minimum de Liebig	602
longanier (<i>Dimocarpus longan</i>)	1010
lutte (contre les organismes nuisibles)	
– biologique	686, 698
– chimique	686
– chimique raisonnée	686
– intégrée	686, 690
– physique	697
– pratique culturelle	692
luzerne des Caraïbes (<i>Stylosanthes hamata</i>)	1149
<i>Lycopersicon esculentum</i> (tomate)	1045
lysimètre	649

M

macabo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)	859
macadamia (<i>Macadamia ternifolia</i>)	1013
macis voir muscadier	
MAD (matière azotée digestible)	1329, 1406
magnésium	620
– carence	607
main-d'œuvre	59, 323, 333, 349
– familiale	349
maïs (<i>Zea mays</i>)	780
– pop	790
– sucré	790
maître d'œuvre	83
maître d'ouvrage (projet)	83
maiwa voir mil	
mammite	1435
mandarinier (<i>citrus</i>)	932
<i>Mangifera indica</i> (manguier)	980
mangoustanier (<i>Garcinia mangostana</i>)	1011
mangrove	258
manguier (<i>Mangifera indica</i>)	980
<i>Manihot esculenta</i> (manioc)	843
manioc (<i>Manihot esculenta</i>)	843
– produit fini	843

<i>Maranta arundinacea</i>	850	• SARRA	650
– fécule	850	• CROPWAT	650
marcottage	577	mohair	1464
mare artificielle	311	monoculture	538
maté (<i>Ilex Paraguayensis</i>)	1079	monoécie	1235
matière organique	471, 542, 610	monoembryonné	1235
– capacité d'échange cationique (de la) ..	611	monopodial	1235
– équilibre (de la)	611	montaison	1235
– minéralisation	611, 629	morphopédologie	47
– propriétés (de la)	611	mortalité embryonnaire	1420
– sous culture	612	motorisation	431, 761
– teneur en	613	moyen de production	57, 323
mauvaise herbe <i>voir aussi</i> adventice	413	mulch	250, 637, 655, 673
– adaptation	664	mulet	753
– biologie	665	multicaulie	1235
– définition	663	multifide	1235
– dégât	669	<i>Musa</i> (banane)	960
– identification	667	<i>Musa</i> (plantain)	960
– lutte	672	<i>Musa textilis</i> (abaca)	1159
• directe	663	muscadier (<i>Myristica fragans</i>)	1098
• mécanique	674	mutagène (<i>agent</i>)	686
mécanisation	431	mutuelle communautaire de croissance (MC2) .	157
mélasse	1109	mycotoxine	717
<i>Melia azadirachta</i> <i>voir</i> neem		<i>Myristica fragans</i> (muscadier)	1098
<i>Melia indica</i> <i>voir</i> neem		myrrhe (<i>Commiphora</i>)	1213
méristème	486, 1234	N	
mésocarpe	1234	naranjille (<i>Solanum quitoense</i>)	1011
mésocotyle	1234	neem (<i>Azadirachta indica</i>)	1200
métayage	323, 336, 352	néflier du Japon (<i>Eriobotrya japonica</i>)	1012
météorisme	1445	<i>Nephelium Lappaceum</i> (ramboutan)	975
méthane	1321	nettoyage	
méthode MARP	228	– bâtiment d'élevage	1546
métissage	1396	<i>Nicotiana tabacum</i> (tabac)	1080
métrite	1436	nicotine	1080
<i>Metroxylon</i> (sagoutier)	858	niébé (<i>Vigna unguiculata</i>)	869
micro-crédit	157, 159	– composition de la graine	869
microfinance	159	– fourrager	1150
miel	975, 1310	nitrification	604
mil <i>voir</i> millet commun		nodule	466
mil (<i>Pennisetum glaucum</i>)	793	noeud	1235
– composition alimentaire	798	noix de cajou <i>voir</i> anarcadier	
mil éthiopien <i>voir</i> teff		noix de cola	1077
mil rouge <i>voir</i> éléusine		noix de muscade <i>voir</i> muscadier	
millet à grappe (<i>Setaria italica</i>)	827	noix du Brésil (<i>Bertholletia excelsa</i>)	1013
millet d'Italie (<i>Setaria italica</i>)	827	norme (<i>sanitaire</i>)	1385
millet des oiseaux (<i>Setaria italica</i>)	827	nouaison	1235
millet indigène (<i>Paspalum scrobiculatum</i>) ..	826	nouer	1235
mini-élevage	1627	noyer de bancoul (<i>Aleurites moluccana</i>)	1203
minirizerie	730	noyer des Moluques	1203
mise bas prématurée	1420	nubilité	1421
mode de conduite des animaux	57	nucelle	1235
mode de mise en valeur	54, 55	nucule	1235
modèle		<i>Numida</i> (pintade)	1565
– de Héning-Dupuis	611	nutrition minérale	493
– de Rogers	380		
– de simulation			

O

oasis 421, 990
 œuf (*conservation*) 1310
 offre et demande fourragère 361
 oie 1566
 oignon (*Allium cepa*) 1037
 oligo-élément 608, 620
 ombelle 1235
 ombrage 545, 637, 1054
 opération culturale 594
 OPR voir organisation paysanne
 oranger (*Citrus sinensis*) 932
Oreochromis voir aussi tilapia 1581
 organisation paysanne 111, 167
 – crédit 167
 – démarche de collaboration 119
 – diagnostic 119
 • grille (pour le) 120
 – formation 131
 – partenariat 115, 116
 – programme d'appui 114, 118, 123
 – regroupement 113
 organisation professionnelle 402
 organisation professionnelle agricole (OPA) 190
 organisme génétiquement modifié (OGM) 570, 686
 organisme nuisible 687
 orthotrope 1235
Oryza glaberrima (riz) 423, 799
Oryza sativa (riz) 799
 oseille de guinée voir roselle
 outil de travail du sol 595
 ovaire 1235

P

pacanier (*Carya illinoensis*) 1013
 paillage du sol 673
 paillis voir mulch
 palétuvier (*Rhizophora mucronata*) 1227
 palmeraie 554
 palmier à huile (*Elaeis guineensis*) 906
 – huile de palmiste 906
 palmier à sucre (*Borassus flabellifer*) 1122
 palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) 986
 palmier pêche (*Guilielma gasipaes*) 1014
 pamplemoussier (*Citrus grandis*) 933
 panic (*Echinochloa crus-galli*) 827
 panicule 1235
Panicum maximum (herbe de Guinée) 1146
Panicum miliaceum (millet commun) 826
 papayer (*Carica papaya*) 994
 paramètre voir aussi performance
 – de reproduction 1257
 – zootechnique 1256
 paramphistomose 1360
 parasite 687

parasitoïde 687
 parc arboré 418, 636
 parcage 416, 421
 parcours 260
 – alimentation (sur) 1344, 1398
 – amélioration 1130
 – élevage (sur) 1268
 voir aussi système pastoral et agrosylvopastoral
 – fourrage ligneux 1400
 – gestion des 260, 1345
 – graminée 1399
 parenchyme 1235
 partenariat 117
 – définition 117
Parthenium argentatum (guayule) 1185
 parthénocarpie 1235
Paspalum scrobiculatum (millet indigène) 826
 pastoralisme 260
 patate douce (*Ipomoea batatas*) 850
 patchouli (*Pogostemon*) 1213
 pâte de fruits 744
 patrimoine héréditaire 1335
 pâturage 213, 1135
 – conduite 1282
 – fertilisation 1282
 – gestion 1282
 – périurbain 1286
 – pression (de) 1275
 – zéro 1136, 1276
 pâturage (ressource végétale) 415
Paullinia cupana (guanara) 1076
 paysage 51
 – coupe (de) 60
 – diagramme 60
 – lecture (du) 47
 – sol 448
 – unité (de) 49, 53, 54
 paysans-relais 378, 399
 PDI (protéine digestible dans l'intestin) 1329, 1406
 pédicelle 1235
 pédotubule 467
 peïjibaye voir palmier pêche
Pelargonium (géranium) 1208
Pennisetum glaucum (mil) 793
 performance
 – bouchère 1438
 – de reproduction 1421, 1489
 – zootechnique 1252
 péricarpe 719, 1235
 périmètre irrigué 273
 – conception 284
 – entretien 280
 – gestion 278
 – impact 284
 péripneumonie contagieuse 1371
 peroxyde d'azote 1321
Persea americana (avocatier) 952

- pervenche de Madagascar
(*Catharantus roseus*) 1214
- peste 1371
- pesticide
– base de données 703
– intoxication 712
– législation 703, 709
– réglementation 709
– utilisation raisonnée 700
- peuplement végétal 483
- Phaseolus lunatus* (pois du Cap) 874
- Phaseolus vulgaris* (haricot vert) 865
- phénotype 1335
- phéromone sexuelle 700
- Phoenix dactylifera* (palmier dattier) 986
- phosphore 605
– carence 606
- photographie aérienne 39, 61
- photopériode 487
- photopériodisme *sensibilité (au)* 800, 837
- photosynthèse 433, 484, 487
- phylochrone 487
- phyllotaxie 1235
- Physalis peruviana* (coqueret du Pérou) 1004
- phytomère 486
- phytotoxicité 677
- ped de coq *voir* panic
- piment (*Capsicum frutescens*) 1041
- pinnule 1235
- pintade (*Numida*) 1565
- Piper nigrum* (poivrier) 1099
- pistache malgache *voir* voandzou
- pitahaya 1001
- plagiotope 1235
- plan
– de trésorerie 94
– foncier rural 235
– sanitaire d'élevage (PSE) 1500
- plantain (*Musa*) 960
- plantation
– familiale 426, 553, 1054
– industrielle 425, 553
– pérenne 420, 425
• mode de reproduction 1054
• renouvellement 1054
• taille 1056
- plante
– à croissance déterminée 497
– à croissance indéterminée 497
– à racine 734
– à réserve 497
– à tubercule 496, 734
– alimentation hydrique 493, 584
– croissance 487
– de couverture 637, 673, 1144
– développement 486
– en C3 487
– en C4 487, 491
– génétiquement modifiée 702
– mécanisme de résistance 690
– nutrition minérale 493
– pérenne
• mode de reproduction 559, 1066
• pollinisation 562
• taille 561, 1070
– phases 497
– piège 696
– réponse aux éléments minéraux 602
- plaqueminier (*Diospyros kaki*) 1015
- plastochrone 487
- pleuropneumonie contagieuse 1374
- pluviométrie 438, 441
- Pogostemon* (patchouli) 1213
- poids vif 1437
- point de compensation 487
- poire d'eau (*Syzygium samarangense*) 1015
- poireau (*Allium ampeloprasum*) 1042
- poiret (*Aeschynomene histrix*) 1141
- pois bambara *voir* voandzou
- pois Congo *voir* pois d'Angole
- pois d'Angole (*Cajanus Cajan*) 872, 1151
– fixation de l'azote 873
- pois d'Egypte *voir* dolique
- pois de bois *voir* pois d'Angole
- pois de souche *voir* pois du Cap
- pois de terre *voir* voandzou
- pois du Cap (*Phaseolus lunatus*) 874
- pois savon *voir* pois du Cap
- poisson 1572
- poivrier (*Piper nigrum*) 1099
- poivron (*Capsicum annuum*) 1043
- politique agricole 73
- pollinisation (*plante pérenne*) 562
- pollution 605
– engrais 641
– génétique 681
- polyembryonné 1235
- polymorphisme 1235
- polypléide 574
- pomelos (*Citrus paradisi*) 933
- pomme de lait 1002
- pomme de terre (*Solanum tuberosum*) 854
- pomme-cajou *voir* anarcadier
- pomme-rose (*Syzygium jambos*) 1016
- pommier de Cythère (*Spondias dulcis*) 1016
- pompe solaire 768
- Poncirus* 933
- population animale sélectionnée 1396
- porc
– besoin nutritionnel 1493
– plan sanitaire d'élevage 1500
- porcherie 1489
- porcin 1487

porosité structurale	462
potassium	
– échangeable	606
poudrette de parc	614
poulailler	1546
poulet (<i>Gallus domesticus</i>)	1529
pousse de bambou	1044
prairie	258, 1127, 1131, 1276
– élevage (sur)	1268, 1399
<i>voir aussi</i> système prairial	
– état	1277
– productivité	1278
– valeur nutritive	1279
pratique d'élevage	1246, 1261
– conduite	359
• de l'alimentation	361
• de la reproduction	360
• sanitaire	360
– exploitation	359, 362
– renouvellement	359, 362
– valorisation	359
pratique paysanne (ou de l'agriculteur)	190, 355
prédateur	687
prémix	1296
préparation du sol	591, 594
préservation de l'environnement	1318
pression de sélection	1337
prix des produits	370
procombant	1235
production animale	1252
production de lait	
– brebis	1458
– chamelle	1470
– chèvre	1465
– vache laitière	1431
production de viande (<i>quantité</i>)	1317
productivité	
– du travail	369, 371, 372
– du troupeau	57
– numérique (<i>animal</i>)	1257, 1442
produit brut (<i>calcul</i>)	370
profil cultural	468, 589
– évolution	592
profil du sol	452
programmation concertée	228
programme d'expérimentation	394
projet	
– conduite	89, 95
– cycle	88
– de développement	75, 82
<i>voir aussi</i> intervention de terrain	
– de développement local	234
– de gestion des terroirs	226
– démarche	81
– évaluation	104
– gestion financière	93
– programmation	228
– stratégique	122

– suivi	107
– suivi-évaluation	231
prolificité (<i>animal</i>)	1257
prophylaxie sanitaire	1546
propriété physique du sol	592
propriété privée	203
protandrie	1235
protection intégrée <i>voir aussi</i> lutte intégrée	690
protoplaste	570
pseudo-labour	755
<i>Psidium guajava</i> (goyavier)	1007
<i>Pterocarpus santalinus</i> (bois de santal)	1224
puberté	1422
pubescent	1235
puissance (W)	747
pulvériseur à disques	598
<i>Punica granatum</i> (grenadier)	1008
pyrèthre (<i>Chrysanthemum</i>)	1201
pyréthrine	1201

Q

qualité	
– de l'herbe	1278
– du grain	717
quenettier (<i>Melicocca bijuga</i>)	1017
quinidine	1215
quinine	1214
quinquina (<i>Cinchona ledgeriana</i>)	1214

R

race (<i>animal</i>)	1396, 1487
racème	1235
rachis	1235
rachitisme	1445
racine (<i>fonction</i>)	583, 592, 601
racine-tubercule	735, 736
radis (<i>Raphanus sativus</i>)	1045
rage	1374
ramboutan (<i>Nephelium Lappaceum</i>)	975
ramie (<i>Boehmeria nivea</i>)	1176
ranch de faune	1623
ranching	261, 426
<i>Raphanus sativus</i> (radis)	1045
raphia (<i>Raphia</i>)	1177
ration	1410
– calcul	1328, 1329, 1411
– complémentation	1284
– de base	1411
– formulation	1293, 1495, 1538
– porc	1496
– vache laitière	1411, 1412, 1414
rationalité économique	337
rationnement <i>voir</i> ration	
ravageur	687
rayonnement	433, 434, 439, 441, 489

– efficacité de conversion	490
– photosynthétiquement utile (PAR)	545
recépage	562
recherche multi-locale	514
récolte	
– céréale	717
– fruit-légume	738
– plante oléagineuse	732
– racine-tubercule	735
recueil d'informations	341, 1281
référentiel de compétences	180
régulation foncière	216
rémanence	677, 687
rendement	56, 496, 497
– élaboration (du)	496
– estimation	357
– à l'abattage	1255, 1438
– numérique	1259
rente	
– différentielle forêt	553
– foncière	336
reproduction	1331
réseau d'information	398
réserve utile racinaire, RUr	648, 653
résidu de récolte	631
ressource	214
– fourragère	1267
– gestion	268
– pastoral	260
– renouvelable	214
• accès	214
• définition	263
• exploitation	268
• gestion	264, 268
revenu	
– agricole	369, 372
– d'exploitation	1265
révolution verte	429, 803
<i>Rhizophora mucronata</i> (palétuvier)	1227
rhizosphère	593, 601
ricin (<i>Ricinus communis</i>)	1215
<i>Ricinus communis</i> (ricin)	1215
risque	171, 173, 422, 524
– climatique	174
– d'alcanisation	289
– économique	175, 335
– environnemental	1316
– innovation	377
riz	
– blanchi	729
– cargo	809
– classification sur le marché	809
– flottant	423, 803
– mode d'implantation (exemple)	504
– paddy	803
– rendement en grain	804
– usinage	729
riz (<i>Oriza glaberrima</i>)	423, 799
riz (<i>Oryza sativa</i>)	799
– sensibilité au photopériodisme	800
– sous-espèce	
• indica	800
• japonica	800
riziculture	
– inondée	422, 423, 803
– irriguée	803
– pluviale	423, 803
rizière	422, 424
rizipisciculture	1573
rocouyer voir roucouyer	
rônier (<i>Borassus aethi</i>)	1178
roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	1179
rotation culturale	352, 538
– protection des cultures	695
roténone	1202
rotin (<i>Calamus caesius</i>)	1180
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> déserbage	682
roucouyer (<i>Bixa orellana</i>)	1228
rouissage	1235
ruissellement	242, 647
– réduction	654
S	
saccharose	1109
<i>Saccharum</i> (canne à sucre)	1109
safran des Indes voir curcuma	
sagou (<i>fécule</i>)	858
sagoutier (<i>Metroxylon</i>)	858
saignée	1193
salaison	1305
salinisation	288
salmonellose	1380
santal rouge voir bois de santal	
sang	1309
sanio voir mil	
saponine	1085
sapotillier (<i>Manilkara zapota</i>)	1017
sarclage	674, 757
– mécanique	675, 679
savane	258, 1399
savoir paysan	29, 189, 191, 232, 345
schistosomose	1363
sciaphile	1235
sclérenchyme	1235
séchoir	723, 724
séchoir solaire	768
secteur informel ou autonome	158
sécurité foncière	203, 216, 233, 335
sélection (reproducteur)	1337
– massale	1338
– pression (de)	1337
– sur ascendance	1338
– sur descendance	1339

sélection récurrente.....	573	sorgho à balais <i>voir</i> millet commun	
semelle de labour.....	458	<i>Sorghom bicolor</i> (sorgho).....	811, 1152
semence.....	575	souche (animal).....	1396
semis		soudure alimentaire.....	368
– à la volée.....	505	soufre.....	620
– direct.....	506, 508, 679	souna <i>voir</i> mil	
• sur mulch.....	654	sous-produit	
sésame (<i>Sesamum indicum</i>).....	918	– agro-industriel (SPAI).....	1267, 1403
<i>Sesamum indicum</i> (sésame).....	918	• valeur nutritive.....	1286
sessile.....	1235	– de culture.....	1402
<i>Setaria italica</i> (millet des oiseaux).....	827	– recyclage.....	631
seuil de nuisibilité		sous-sol.....	484
– biologique.....	687	stabilité structurale.....	467, 590
– économique.....	687, 700	stabulation.....	1287
silo.....	726	stade critique.....	495
<i>Simmondsia chinensis</i> (jojoba).....	1209	steppe.....	258
sisal (<i>Agave</i>).....	1181	stipe.....	1235
soja (<i>Glycine max</i>).....	919	stockage	
sol		– à froid.....	741
– acide.....	607	– céréale.....	724
– basique.....	608, 611	– graine oléagineuse.....	733
– de bas-fonds.....	307	– racine-tubercule.....	736
– couleur.....	453	stolonifère.....	1236
– eau (du).....	586, 643, 648	stratégie patrimoniale.....	326, 327, 553
– élément nutritif.....	1320	striga.....	670
– éléments minéraux.....	604	– déserbage.....	683
– étude (du).....	449	– lutte (technique de).....	683
– évolution.....	479	strongylose	
– fonction (du).....	447	– gastro-intestinale.....	1361
– horizon.....	450, 452, 470	– respiratoire.....	1363
• type.....	474	structure du sol.....	449, 590
– matière organique (du).....	611	<i>Struthio camelus</i> (autruche).....	1639
• équilibre.....	611	style.....	1236
• minéralisation (de la).....	611, 629	<i>Stylosanthes hamata</i> (luzerne des Caraïbes)....	1149
– morphologie.....	448, 451, 461	<i>Styrax</i> (benjoin).....	1205
• profil.....	452	subvention agricole.....	155, 403
– préparation.....	591, 594	succession culturale.....	56, 352
– propriété physique.....	590, 592	suivi d'élevage.....	1249, 1520
• adhésivité à.....	590	suivi-évaluation.....	185
• cohésion à.....	590	supplémentation <i>voir</i> complémentation	
– salé.....	607	surface équivalente relative, SER (<i>méthode</i>)	550
– structure.....	449, 590	surpâturage.....	1318, 1344
• agrégat.....	454	sympodial.....	1236
• porosité.....	461	système.....	1244
– texture.....	589	système agraire	
– travail (du).....	593, 594, 595, 596	– définition.....	27
– tropical.....	610, 611	système agriculture élevage.....	417, 419
– type.....	450	système agro-sylvo-pastoral.....	1268
<i>Solanum melongena</i> (aubergine).....	1029	système agroforestier.....	554, 556
<i>Solanum tuberosum</i> (pomme de terre).....	854	système agropastoral.....	1320, 414
sole fourragère.....	413	système d'alimentation (animal)	
somno <i>voir</i> mil		– définition.....	1267
sonde à neutron.....	649		
sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>).....	811		
– toxicité.....	816		
– culture de décrue.....	817		
– fourrager.....	1152		
– subsp. bicolor (<i>race</i>).....	814		

- système d'élevage 1240
- caractérisation 359, 1245
 - définition 65, 359, 1244
 - diagnostic 1246, 1268
 - impact sur l'environnement 1314, 1318
 - piscicole 1575
- système de culture 413
- caractérisation 352, 355, 356
 - définition 62, 351
 - représentation 353
 - sous couverture végétale permanente 509
- système de pâturage 414
- système de production
- définition 27, 348
 - extensif 333
 - fonctionnement 366, 368
 - intensif 333
 - piscicole 1573
- système financier décentralisé 162
- système foncier 201, 202, 205
- système fourrager 1268, 1284
- système mixte agriculture-élevage
- voir aussi* système agropastoral 1242
- système pastoral 1240, 1319
- système pédologique 450, 480
- système prairial *ou* herbager 1268
- système racinaire 547, 583, 589
- voir aussi* enracinement, racine
- Syzygium aromaticum* (giroflor) 1095
- T**
- tabac (*Nicotiana tabacum*) 1080
- taille
- plante pérenne 561
- talle 1236
- tamarinier (*Tamarindus indica*) 1018
- tapioca *voir* manioc
- tarare 728
- taro (*Colocasia esculenta*) 859
- taux
- d'exploitation numérique 1259
 - de charge 1139
 - de profit 371
- tec 747
- technique culturale anti-érosive 250
- teff (*Eragrostis tef*) 828
- temps de travail (h/ha) 749
- téniasis 1361, 1380
- tenure des terres 323
- tep 747
- tephrosia (*Tephrosia vogelii*) 1202
- Tephrosia vogelii* (tephrosia) 1202
- téphrosine 1202
- tératogène 687, 712
- territoire 234
- organisation sociale 207
- terroir
- concept 223
 - définition 223
 - gestion (de) 225
 - approche 227
 - concept 225
 - projet 226
 - identification 1275
 - plan d'aménagement 254
- texture du sol 589
- thé de karkade *voir* roselle
- thé du Paraguay *voir* maté
- thé vert *voir* théier
- théier (*Camelia sinensis*) 1085
- theilériose 1365
- thélaziose oculaire 1364
- Theobroma cacao* (cacaoyer) 1051
- théobromine 1052
- thermocouples 442
- Thryonomys swinderianus* (aulacode) 1630
- tige 485
- tilapia 1572, 1581
- tiq. 1366
- tô 812
- toloman *voir* canna comestible
- tomate (*Lycopersicon esculentum*) 1045
- tomate en arbre (*Cyphomandra betacea*) ... 1018
- tontine 158
- toposéquence 60
- tour d'eau 279, 293
- tournesol (*Helianthus annuus*) 925
- toxicité 687
- toxicité (végétale) 548, 601
- aluminique 607, 635
- toxocarose 1360
- toxoplasmose 1380
- tracteur 763
- traction animale 430, 753
- Training and Visit* *voir* formation et visite
- transect 60, 227
- transfert de fertilité 66
- transfert embryonnaire 1333
- transgénèse 570
- transport (*animal*) 1302
- travail 57
- coût d'opportunité 372
 - main-d'œuvre 59, 323, 349
 - productivité 371
- travail du sol 593, 594, 595, 755
- en culture irriguée 757
 - minimum 583
 - outil 595
 - semis direct avec suppression (du) ... 679
 - superficiel 755
- trichinellose 1380

trifolié.	1236
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	777
<i>Triticum turgidum</i> (blé dur)	777
troupeau	1261
trypanosomose.	1365, 1467, 1471, 1477
tubercule.	834
– récolte	735
tuberculose	1375, 1380, 1435
tubérisation.	487
turion	1236
type de sol.	450
typologie	66
– définition	66
– des exploitations agricoles	331
• à dire d'acteurs	321
• élaboration	339

U

UFL (unité fourragère lait)	1329, 1405
unité	
– agro-éco-climatique	1272
– de gestion (cheptel)	1273
– économique	
• d'accumulation (UA)	327, 328
• de consommation (UC)	327, 328
• de production (UP)	327, 328, 348
usinage du riz	729

V

vache laitière	
– production	1431
– race locale	1429
– ration	1411, 1412, 1414
– stress	1434
– tarissement	1433
vaine pâture.	415, 631
valeur ajoutée	369, 1263
– élevage	1263
valeur alimentaire.	1404
– fourrage	1407
– sous-produit de culture	1403
<i>Vanilla fragans</i> (vanillier)	1103
vanillier (<i>Vanilla fragans</i>)	1103
variété	
– à haut potentiel de rendement.	429
– génétiquement modifiée	691
– résistante	690
– tolérante	690
vecteur de maladie animale	1366
venaison	1622
verger.	553
– renouvellement	557
vernalisation	1236
verticille.	1236
vétiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	1219
<i>Vetiveria zizanioides</i> (vétiver).	1219
viabilité financière	163

viande (<i>conservation</i>).	1305
vibroculteur.	600
<i>Vigna subterranea</i> (voandzou)	875
<i>Vigna unguiculata</i> (niébé)	869, 1150
voandzou (pois de terre)	732
voandzou (<i>Vigna subterranea</i>)	875
volaille	
– bâtiment	1532
– besoin nutritionnel	1537
– prophylaxie	1550
vulcanisation.	1195
vulgarisation	188
– dispositif (de)	189

X

<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (macabo)	859
xénogame	1236
xénogamie.	1134

Y

ylang-ylang (<i>Cananga odorata</i>)	1220
--	------

Z

<i>Zea mays</i> (maïs)	780
<i>Zingiber officinale</i> (gingembre)	1094
zonage	61, 227, 1248
– à dire d'acteurs	227, 1248
zoonose	1378

Annexe 4. Sommaire des cédéroms

Deux cédéroms complètent le livre. Le cédérom principal contient, en plus d'une version numérique du livre, des diaporamas, des fiches techniques et textes complémentaires. Quant au second cédérom, il est conçu comme une bibliothèque virtuelle et rassemble une série d'ouvrages utiles.

LE CÉDÉROM PRINCIPAL

● Les diaporamas

Les diaporamas sont conçus pour être consultés à l'écran. Ils proposent environ 1 000 pages-écrans de textes originaux, courts et largement illustrés.

Les diagnostics : comprendre pour agir

- > Le diagnostic des activités agricoles dans la plaine des Cayes (Haïti).
- > L'analyse des données de suivi agronomique de parcelles chez les agriculteurs (Cambodge).

Intervenir sur l'environnement des exploitations

- > Mettre au point une séance de formation : quelques aides pédagogiques.
- > Quelle gestion des ressources « communes » ? Identifier les pouvoirs et les usagers pour négocier les règles.
- > De la gestion de terroirs au développement local. Une expérience au Nord-Cameroun.
- > De la gestion de terroirs au développement local. Les quatre phases d'un projet.
- > Projet de développement paysannal et gestion de terroirs. Cameroun, zone de Mowo.
- > Les mécanismes de l'érosion en Afrique tropicale sèche.
- > Concevoir et réaliser un aménagement anti-érosif en Afrique tropicale sèche.
- > Erosion et lecture du paysage. Trois études de cas à Haïti.

Accompagner le développement des exploitations agricoles

- > Un exemple d'étude d'une exploitation agricole de type familial à Ambohitrolomahitsy (Madagascar).

Agriculture générale

- > L'évolution des arbres d'un terroir. 40 années au village de Dolékaha, au nord de la Côte d'Ivoire.
- > L'enclosure des terres. Exemple de l'Afrique de l'Ouest.
- > Les arbres hors-forêt.
- > Influence du karité sur les rendements agricoles.
- > L'arbre dans les systèmes agricoles. Exemples de pratiques agroforestières.
- > Quelques espèces agroforestières non africaines.
- > L'interprétation de la solidité des agrégats.
- > L'interprétation des traits pédologiques.
- > L'interprétation des vides du sol.

- > Les structures fragmentaires du sol.
- > Sols, paysages, milieux.
- > Les mécanismes affectant les sols.
- > Les types d'horizons et leurs superpositions.
- > Les fosses pédologiques, outils d'observation et d'analyse du sol.
- > L'interprétation des couleurs du sol.
- > Les structures continues du sol.
- > Comment évaluer *in situ* les racines des cultures ? Guide pratique de différentes méthodes d'études racinaires.
- > Les systèmes de production fondés sur le riz pluvial en Guinée forestière. Agriculture durable et recherche participative.

Agriculture spéciale

- > La production de matériel sain et conforme, une garantie pour les professionnels. Le cas des agrumes.
- > L'usinage du riz.
- > Récolte et conditionnement des fruits.

Elevage

- > Le lait, source de richesse. Enjeux techniques et socio-économiques de la valorisation du lait en Afrique subsaharienne.
- > L'aire d'abattage, un abattoir de petits ruminants à Obock (Djibouti).
- > La filière viande bovine en Ethiopie. Abattage de quartier et abattage municipal à Bila.
- > Nomades et dromadaires au Niger. CAMELAC, une laiterie pour le lait de chamelle.
- > La filière lait dans le bassin de M'Barara en Ouganda. De la conduite des élevages à la collecte du lait.
- > Manipulation et contention des animaux.
- > Gestion intégrée des ressources fourragères naturelles et de l'élevage bovin dans la savane guinéenne de basse altitude en Afrique.
- > Lutte contre la tique *Amblyomma variegatum* par traitement ciblé à l'aide d'un pédiluve.
- > La fièvre catarrhale du mouton (*blue tongue*). Deux années d'observation en Corse (2000-2001).
- > Epidémiosurveillance de la peste bovine. Gestion des risques sanitaires et des systèmes d'alerte en agriculture et élevage (continent africain).
- > Santé animale : formation des acteurs du réseau d'épidémiosurveillance.

Zootecnie spéciale

- > La contention des bovins : nœuds et cordage.
- > Visites de porcheries : avantages, inconvénients.
- > Maîtrise des pollutions d'élevage. Problèmes et solutions. Exemple de l'élevage porcain martiniquais.
- > La production de poulets différenciés en France. Marché, aspects organisationnels et réglementaires.

● Les fiches techniques et textes complémentaires

Les fiches techniques et textes complémentaires sont plutôt destinés à être consultés après impression. Les textes sont accompagnés de tableaux, figures et photos. 125 documents totalisant 1 300 pages sont accessibles sur le cédérom principal.

Les diagnostics : comprendre pour agir

- > Les méthodes et les outils du diagnostic agronomique. Diagnostic agronomique régional.

Intervenir sur l'environnement des exploitations

- > Comment articuler droit positif et droits fonciers locaux : expériences récentes et perspectives en Afrique de l'Ouest francophone.
- > Droit international sur la gestion des ressources.
- > Microfinance : sources d'information électronique (sites Internet) commentées.
- > Microfinance en agriculture : les conditions de l'équilibre financier.
- > Modèles de microfinance : le fonds d'investissement local ; le secteur informel endogène ; les caisses villageoises ; les coopératives d'épargne et mutuelles de crédit ; les groupes solidaires.
- > Financement de l'agriculture et taux d'intérêt de la microfinance.
- > Financement de l'agriculture et microfinance : bibliographie classée par thème.
- > Vers la professionnalisation de la gestion paysanne des périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest.
- > 11 fiches sur les dispositifs de formation agricole
- > 14 fiches sur les agricultures du Sud et l'OMC.
- > La caractérisation et la mise en valeur des bas-fonds : vocabulaire, échelle d'observation, acteurs.
- > Le diagnostic rapide de pré-aménagement des bas-fonds (DIARPA).
- > Toxicité ferreuse dans les bas-fonds rizicoles.

Accompagner le développement des exploitations agricoles

- > Les enjeux du développement des ressources humaines du secteur agricole en Afrique francophone de l'Ouest.

Agriculture générale

- > Changements climatiques et effet de serre : quelles contraintes pour les agricultures du Sud ?
- > Réchauffement climatique : l'agriculture et la forêt contre l'effet de serre.
- > Fiches sur les prairies tropicales humides. L'implantation et la gestion durable des prairies en Guyane.
- > Echanges entre agriculteurs-expérimentateurs : exemples en Amérique centrale.
- > Expérimentation paysanne, expérimentation en milieu paysan et consolidation de l'organisation paysanne : un exemple au Costa Rica.
- > L'expérimentation paysanne au Guatemala.
- > L'agroforesterie : concept, définition, avantages et inconvénients.
- > L'agroforesterie : exemples de systèmes agroforestiers.
- > L'agroforesterie : quelques espèces utiles africaines.
- > L'agroforesterie : ressources bibliographiques générales et ressources électroniques.
- > Quelques données sur la composition minérale et organique des sols et sur l'alimentation minérale des plantes.
- > L'évolution des équipements de semis direct en traction animale.

- > La production des semences et des plants.
- > Les biotechnologie végétale. Historique, définitions et application au riz.
- > La motorisation : choix technique du matériel et coût des équipements.
- > Nouveaux équipements pour la petite irrigation en Afrique de l'Ouest et du centre
- > Fiches de matériel agricole : les matériels spécifiques aux cultures tropicales ; la récolte des grains ; les matériels de plantation, semis et fertilisation ; les matériels de traitement des cultures ; les outils de travail du sol ; les outils manuels et à traction animale.
- > Méthodes d'étude des systèmes racinaires.
- > 20 fiches sur les principales mauvaises herbes tropicales.

Agriculture spéciale

- > Analyse de la filière riz à Madagascar.
- > Le sorgho repiqué au Nord-Cameroun : dynamique paysanne et évolution du système de culture. L'appui aux producteurs de sorgho muskuwaari, en accompagnement d'une dynamique paysanne.
- > Paysans et chercheurs : un partenariat pour améliorer les riz inondés et pluviaux. Trois années du projet ICAR-IRRI-CIRAD de sélection participative du riz en Inde de l'Est.
- > Plantes fourragères : graminées herbacées, légumineuses herbacées, ligneuses, liste des producteurs semenciers

Élevage

- > L'élevage bovin laitier : la filière dans le bassin laitier de M'Barara en Ouganda. Application de la démarche de diagnostic.
- > Les principales espèces domestiques.
- > La qualité des produits animaux (poisson et viande).
- > La conservation par le froid du poisson et des produits de la mer : réfrigération et congélation.
- > La conservation par le marinage du poisson et des produits de la mer.
- > Les tests de qualité du lait.
- > Le lait de vache.
- > Les problèmes pratiques de rationnement.
- > Lexique à propos des ressources pastorales et fourragères : des notions générales aux mots spécialisés. Définition en français, traduction des mots en anglais.
- > Quelques principes sur le logement des animaux.
- > 15 fiches sur la traction animale en régions chaudes.
- > L'épandage pour tirer parti de l'intérêt agronomique des matières organiques. Exemple de l'île de la Réunion.
- > Démarche d'évaluation et de conception d'un programme de complémentation de l'élevage traditionnel (bovin, ovin, caprin, équin).
- > Quelques aliments et matières premières utilisés en alimentation des animaux dans les zones tropicales.
- > La croissance des animaux d'élevage.
- > Gestion des risques sanitaires et des systèmes d'alerte en agriculture et élevage. Epidémiosurveillance de la peste bovine sur le continent africain.
- > La fièvre catarrhale ovine (*blue tongue*). Le cas de l'infection en Corse.
- > Méthodes d'acquisition de données techniques sur l'élevage du porc et sur l'utilisation de différentes races en régions tropicales.

Zootechne spéciale

- > Races d'animaux d'élevage en Afrique intertropicale et méditerranéenne : les bovins ; les camélins ; les caprins ; les chevaux ; les porcs ; les volailles ; les ovins.
- > Logement et matériel d'élevage en aviculture.
- > Une étude de cas : l'élevage traditionnel de porcs au sud du Bénin (Afrique de l'Ouest).
- > Etat corporel et production chez les bovins.
- > L'élevage de grenouilles en milieu tropical.
- > L'élevage du rongeur capybara en Amérique du Sud.
- > L'exploitation des iguanes au Nicaragua et au Costa Rica.
- > Le bulime, ou escargot terrestre de l'Île des pins (Nouvelle Calédonie).
- > Techniques de pisciculture : gestion technico-économique des étangs.
- > Techniques de pisciculture : l'aménagement des étangs piscicoles.
- > Les filières crevettes en régions chaudes.

LE SECOND CÉDÉROM : LA BIBLIOTHÈQUE VIRTUELLE

Le second cédérom est une bibliothèque virtuelle regroupant, sous forme numérique, plus de 150 documents représentant environ 8 000 pages.

Les diagnostics : comprendre pour agir

- > Les outils et méthodes du diagnostic sur les systèmes d'élevage (CIRAD, 1984).
- > Regards sur les enquêtes et diagnostics participatifs (GRET, 2000).
- > Le diagnostic rapide de pré-aménagement des bas-fonds (DIARPA) (CIRAD, 1998).
- > Une méthode d'analyse des filières. Synthèse de l'atelier 10-14 avril 2000, LRVZ, N'Djaména, (CIRAD-EMVT/LRVZ, DPPASA, PRASAC, 2000).

Intervenir sur l'environnement des exploitations

- > L'évaluation à la Commission européenne. Guide des procédures et structures d'évaluation actuellement en vigueur dans les programmes de coopération externes de la Commission (Commission des Communautés européennes, 2001).
- > Guide pour l'évaluation (Commission des Communautés européennes, 2001).
- > Manuel. Gestion du cycle de projet (Commission des Communautés européennes, 2001).
- > Gestion du cycle de projet. Guide récapitulatif des formations (Commission des Communautés européennes, 2001).
- > Evaluer : apprécier la qualité pour faciliter la décision. Six notes pour contribuer à l'efficacité des évaluations (GRET, 2001).
- > Organisations paysannes. Leur contribution au renforcement des capacités rurales et à la réduction de la pauvreté (World Bank Group, 2001).
- > De l'action technique au construit social (GRET, 2001).
- > Microfinance, banques agricoles, banques commerciales : quels partenariats pour le financement de l'agriculture ? (CIRAD, 2002).
- > Politiques de microfinance et politiques agricoles : synergies et divergences (CIRAD, 2002).
- > Financement de l'agriculture : Quelle contribution de la microfinance ? Le cas du Vietnam. Le cas du Cambodge. Le cas de Madagascar (CIRAD, 2002).

- > Financement de l'agriculture et microfinance au Bénin (CIRAD, 2002).
- > Microfinance, organisations paysannes : quel partage des rôles, quels partenariats dans un contexte de libéralisation ? (CIRAD, 2002).
- > Quels modes d'intervention pour améliorer la contribution de la microfinance au financement de l'agriculture ? (CIRAD, 2002).
- > Microfinance et sécurisation du crédit aux exploitations familiales (CIRAD, 2002).
- > Regard sur l'Afrique de l'Ouest (CIRAD, 2002).
- > Adéquation entre l'offre des IMF et les besoins de l'agriculture familiale (CIRAD, 2002).
- > Financement du développement : la mécanique des fonds. Tome I. Synthèse (GRET, 2001).
- > La gestion des eaux de ruissellement (CIRAD, 1997).
- > Amélioration des aménagements anti-érosifs par l'utilisation des graminées pérennes et du pois d'Angole (OXFAM).
- > Une meilleure gestion de l'eau pluviale par les techniques culturales (Sud du Sine Saloum, Sénégal) (CIRAD, 1996).
- > La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits et microbarrages en Afrique de l'Ouest (Ministère de la Coopération, 1998).
- > De l'eau pour le maraîchage. Expériences et procédés (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1994).
- > Construction et aménagement de puits. L'exemple du Cambodge (GRET, 1998).
- > Aménagements des champs pour la culture en courbes de niveau au sud du Mali (CIRAD, 1997).
- > CALCUL. Un outil pour construire un calendrier cultural prévisionnel du riz irrigué au Sahel (PSI/CORAF, IRD, 2000).
- > Performances comparées de deux périmètres irrigués (PSI/CORAF, 2000).
- > Gestion conservatoire de la fertilité des sols sous irrigation (PSI/CORAF, 2000).
- > Amélioration des performances des petits périmètres irrigués villageois, par la mise en place d'un système d'information et de suivi des pratiques (irrigation et calendriers de cultures) (PSI/CORAF, 2000).
- > Mise en valeur et aménagement des bas-fonds (CIRAD, CORAF, 2000)
- > Mise en valeur des bas-fonds au Mali (CIRAD, 1994).
- > Réglementation pour le transport des marchandises dangereuses (norme) (IATA).
- > De l'enseignement technique agricole aux formations professionnelles rurales : exemple de l'Afrique subsaharienne (AGRIDOC, 2002).
- > Enjeux et contraintes de la formation professionnelle agricole en Afrique de l'Ouest francophone en 2025 (AGRIDOC, 2002).
- > Quelle démarche pour élaborer ou rénover les dispositifs de formation rurale ? (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche – Ministère des Affaires étrangères, 2002).
- > Du sens aux actes (GERDAL, 1993).
- > Les « plates-formes de négociation » entre usagers des ressources naturelles (GRET, 1999).
- > Répertoire « Foncier rural, ressources renouvelables et développement dans les pays ACP » (GRET, Ministère de la Coopération, 1998).

Accompagner le développement des exploitations agricoles

- > Appuyer les innovations paysannes. Dialogue avec les producteurs et expérimentation en milieu paysan (AGRIDOC, GRET, Ministère des Affaires étrangères, 2002).

Agriculture générale

- > Paraquat, diuron et atrazine pour renouveler le désherbage chimique au Nord-Cameroun (CIRAD, 1996).
- > Semis direct et désherbage chimique en zone cotonnière du Cameroun (CIRAD, 1996).
- > La maîtrise de l'enherbement des cultures de céréales en Côte d'Ivoire (CIRAD, 1995).
- > Utilisation des herbicides : contraintes et perspectives (CIRAD, 1995).
- > La gestion de l'enherbement et l'emploi des herbicides dans les systèmes de culture en zone soudano-sahélienne en Afrique de l'Ouest et du Centre (CIRAD-CA, GEC, AMATROP, 2000).
- > Maîtrise de l'enherbement pour les cultures de Muskuwaari au Nord-Cameroun (CIRAD, 2000).
- > L'enherbement des sols à Muskuwaari au Nord-Cameroun (CIRAD, 2000).
- > Fiches (5) sur les ravageurs du bananier (INIBAP).
- > Fiches (8) sur les maladies du bananier (INIBAP).
- > Insectes nuisibles aux cultures vivrières d'Afrique, de Madagascar et des Mascareignes (CIRAD, 1985).
- > Aspects techniques de protection des végétaux pour la garantie des échanges de matériel végétal arachide (ICRISAT, CIRAD, ISRA, 2001).
- > Evolution des sols sous irrigation (Psi/CORAF, 2000).
- > Atelier de formation-échange. Dossier technique sur les normes de production, stockage, distribution des semences d'arachide en milieu paysannal (GGP, 2001).
- > La gestion d'une banque de semences (ICRISAT, CIRAD, ISRA, 1998).
- > La motorisation dans les cultures tropicales (Ministère de la Coopération, CIRAD, ACTA, 1998).
- > Système de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. Synthèse bibliographique (CNEARC, 2002).
- > Agroforesterie pratique à l'usage des agents de terrain en Afrique tropicale sèche (Ministère de la Coopération, 1994).
- > Guide d'aide à la décision en agroforesterie. Tome 2. Fiches techniques (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1995).
- > Haies et bocages en milieu tropical d'altitude (GRET, Ministère des Affaires étrangères, 2002).
- > Propriété sur le vivant et accès aux ressources génétiques : peut-on concilier éthique et efficacité économique (CIRAD, 2002).
- > La sélection participative : impliquer les utilisateurs dans l'amélioration des plantes (CIRAD, 2001).
- > Manuel d'agronomie tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne (GRET, FAMV, 1990).
- > Physiologie post-récolte (CIRAD).
- > L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne, hors série (CIRAD, 1996).
- > Pour une gestion raisonnée des résidus des cotonniers au Cameroun (CIRAD, 1996).
- > Séminaire : Diversification des productions (Psi, 2000).

Agriculture spéciale

- > Manuel du producteur de semences de maïs en milieu tropical (CIRAD, 1988).
- > La production de semences d'arachide en Afrique de l'Ouest (CIRAD, 1997).
- > L'oignon dans la vallée du Fleuve Sénégal (Psi/CORAF, 2000).
- > La tomate industrielle au Sénégal. Performances de la production et enjeux pour la filière (Psi/CORAF, 2000).
- > Le photopériodisme des sorghos africains (CIRAD, 1996).
- > Conduite des champs de riz pluvial chez les agriculteurs d'un village de République de Côte d'Ivoire (région Ouest) (AGRIDOC, GRET, Ministère des Affaires étrangères, 2002).

- > La relance de la riziculture paysanne au Ghana (CIRAD, 1994).
- > Préparer et vendre des boissons traditionnelles. Expériences et procédés (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1999).
- > La transformation artisanale des plantes à huile. Expériences et procédés (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1995).
- > Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes. Expériences et procédés (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1996).
- > La production artisanale de farines infantiles. Expériences et procédés (GRET, CTA, Ministère de la Coopération, 1994).
- > Conservation en frais des fruits tropicaux (CIRAD).

Élevage

- > Santé animale. 15 fiches techniques d'élevage tropical (CIRAD-EMVT, Ministère de la Coopération et du Développement).
- > Ressources alimentaires. 9 fiches techniques d'élevage tropical (CIRAD-EMVT, Ministère de la Coopération et du Développement).
- > Productions animales. 15 fiches techniques d'élevage tropical (CIRAD-EMVT, Ministère de la Coopération et du Développement).
- > Reconnaître la peste des petits ruminants. Manuel de terrain (FAO, 2000).
- > Extrait du «Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical» (EMVT, 1971).
- > Apport des systèmes d'information géographique pour l'étude de l'épidémiologie des trypanosomoses animales (CIRAD-EMVT).
- > Étude économique de la production bovine villageoise dans une région du nord de la Côte d'Ivoire infestée par les glossines (CIRAD, 1994).
- > Glossines et trypanosomes (CIRAD, 2001).
- > La fièvre de la vallée du Rift (OMS, 1998).
- > La pleuropneumonie contagieuse caprine (CIRAD).
- > La résistance génétique à la dermatophilose bovine (CIRAD).
- > Lutte contre les tsé-tsé (CIRAD, 1999).
- > Maladies des ovins (CIRAD-AUPELF/UREF).
- > La formation des auxiliaires d'élevage au Tchad : principes et application (AGRIDOC, 2002).
- > Analyse économique des projets agricoles. Annexes. Projections concernant les troupeaux (1985).
- > Créer et gérer un point d'eau pour les troupeaux de son village (CIRAD, CTA, 2000).
- > Association agriculture et élevage en zone de savanes (Côte d'Ivoire, CIDT), 3^{ème} partie : éléments d'un référentiel technique (CIRAD-EMVT, IRAM, 1996).
- > Compétitivité des productions animales en Afrique subsaharienne et à Madagascar. Extraits (Ministère des Affaires étrangères, CIRAD, 2000).
- > Agriculture africaine et traction animale (CIRAD, 1996).
- > Dossier : systèmes d'élevage (CIRAD, 1986).
- > Relations agriculture-élevage (CIRAD, 1992).

Zootchnie spéciale

- > Races porcines (FAO, 2002).
- > Races porcines (ANSI, 2002).
- > Guide d'élevage des volailles au Sénégal (CIRAD-EMVT, 1997).
- > Etat corporel et rationnement de l'âne au travail (CIRAD).
- > Engraissement du porc charcutier à base de bananes vertes (CIRAD, 2002).
- > Etude sur les bâtiments d'élevage utilisés en production porcine en zone tropicale (CIRAD-EMVT, 1994).
- > Complémentation des ovins en croissance sur des parcours pastoraux et agropastoraux d'Afrique tropicale sèche (CIRAD-EMVT).
- > Les animaux de trait au Nord-Cameroun : zébu, âne et cheval (CIRAD-EMVT, IRZV 1996).
- > Traitements des effluents de porcherie en zone Caraïbe (BDPA, CIRAD-EMVT, FERT-FERTILE, 1996).
- > Zootchnie et bâtiments (BDPA, CIRAD-EMVT, FERT-FERTILE, 1996).
- > La peste porcine à Madagascar : épizootie émergente ou maladie ancienne ? (CIRAD-EMVT, 1999).

Réalisation technique du *Mémento de l'agronome*

Index

Chantale Mazzela-Second, Cms documentation – gestion de l'information, Montpellier, France.
mazzela@wanadoo.fr

Maquette, mise en page

Intérieur : Philippe Laura, Cheikh Tidiane Fall, Fatoumata Sylla-Dramé, Imédia, Dakar, Sénégal.
imedia@arc.sn, www.imedia.sn

Couverture : Intactile, Montpellier, France.
ollagnon.c@intactile.com

Traitement numérique des images : Yves Rinato, Intactile, Montpellier, France.
rinato.y@intactile.com, www.intactile.com

Crédit photos

Couverture : marché indonésien, Alain Rival, CIRAD.

Intérieur : toutes les photos sont de Marie-Agnès Leplaideur, IciLàBas sauf :
p. 22, 407, 565 et 1125 : Pierre Barrot, IciLàBas ;
p. 199, 773, 1391, 1485 : Bertrand Wybrecht ;
p. 319, 1155 : Christian Castellanet, GRET ;
p. 1231 : Souleymane Ouattara, Jade Burkina.

Impression

Société Jouve, France, www.jouve.fr

Diffusion

Librairie du CIRAD, librairie@cirad.fr, www.cirad.fr
Librairie du GRET, librairie@gret.org, www.gret.org

ISBN

2-86844-129-7
2-87614-522-7

Copyright

Editions du GRET, Editions du CIRAD, Ministère français des Affaires étrangères.
Tous droits d'adaptation, de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

Cet ouvrage ne peut être reproduit, même partiellement et sous quelque forme que ce soit (photocopie, décalque, duplicateur ou tout autre procédé) sans une autorisation écrite de l'éditeur.



Mémento de l'agronome

Indispensable aux agronomes et techniciens de terrain, cette nouvelle version du *Mémento de l'agronome*, totalement remaniée et adaptée aux nouveaux enjeux du développement des pays du Sud, se compose d'un livre et de deux cédéroms.

Le livre propose des informations techniques, des repères méthodologiques et des connaissances scientifiques de base en agronomie et zootechnie. Du diagnostic à l'intervention, de l'amélioration des systèmes de culture et d'élevage aux principaux animaux élevés et plantes cultivées, les professionnels de terrain trouveront dans ce *Mémento* l'information, le conseil de méthode ou la référence dont ils ont besoin. Sommaire, index et renvois entre chapitres permettent au lecteur de naviguer aisément dans ces 1 700 pages.

Deux cédéroms accompagnent cet ouvrage. Le premier propose le contenu du livre et de nombreux documents et illustrations complémentaires. Le second constitue une bibliothèque composée de 150 références.

44 €

2-86844-129-7



2-87614-522-7

GRET

