Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition?

Meriem Trabelsi

▶ **To cite this version:**

Meriem Trabelsi. Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition?. Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2017. Français. NNT : 2017MON30037 . tel-01735527

HAL Id: tel-01735527

https://theses.hal.science/tel-01735527

Submitted on 16 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Collège Doctoral Languedoc-Roussillon

THÈSE

Pour obtenir le grade de Docteur

Délivré par **Université Paul-Valéry Montpellier 3 – France**
Arts, Lettres, Langues, Sciences Humaines et Sociales

Préparée au sein de l'école doctorale **ED60 Temps, Territoires, Sociétés, Développement**
Et de l'unité de recherche **UMR GRED : Gouvernance, Risque, Environnement, Développement**

Spécialité : **Géographie et aménagement de l'espace**

Présentée par **Meriem TRABELSI**

COMMENT MESURER LA PERFORMANCE AGROECOLOGIQUE D'UNE EXPLOITATION AGRICOLE POUR L'ACCOMPAGNER DANS SON PROCESSUS DE TRANSITION ?

Soutenue le 23 octobre 2017 devant le jury composé de

M. Jean-Paul BORD, Professeur de géographie, Université Paul-Valéry Montpellier 3	Directeur de thèse
Mme Thouraya SOUISSI, Professeur d'agronomie, INA de Tunisie	Rapporteur
M. Pascal MARTY, Professeur de géographie, Ecole Normale Supérieure de Lyon	Rapporteur
Mme Élisabeth MANDART, Professeur associé, HDR, CIHEAM-IAM Montpellier	Examinateur
Mme Sylvie MORARDET, Chercheur IRSTEA UMR G-eau Montpellier	Examinateur
M. Philippe LE GRUSSE, Enseignant-chercheur, Administrateur scientifique principal, CIHEAM-IAM Montpellier	Examinateur

UNIVERSITÉ PAUL VALÉRY MONTPELLIER 3

« L’Université n’entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur ».

AVANT-PROPOS

Cette thèse de doctorat résulte de cinq ans de travail au sein du Laboratoire d'Accueil Méditerranéen en Economie et Sciences Sociales « LAMES » à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier et de l'UMR GRED: Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (Université Paul -Valéry Montpellier 3/ IRD, Institut de Recherche pour le Développement). Elle a été dirigée, encadrée et suivie par Jean-Paul BORD (Professeur des Universités en Géographie à l'Université Paul-Valéry Montpellier 3), Philippe LE GRUSSE (Enseignant chercheur à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier) et Elisabeth MANDART (Professeur associé à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier). Elle a été financée par le projet CASDAR[1] « Post-MAET Gimone » et par l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet CASDAR «Post-MAET Gimone», porté par la coopérative Qualisol dans le Tarn-et-Garonne, dont l'objectif est de poursuivre le travail réalisé avec plusieurs agriculteurs engagés dans une MAET (Mesure Agro-environnementale Territorialisée) « réduction progressive de l'utilisation des produits phytosanitaires » depuis 2008 pour améliorer la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation du captage classé "Grenelle" de Beaumont-de-Lomagne. La diminution de l'usage des produits phytosanitaires reste le thème principal de ce projet. L'allongement de la rotation et ses conséquences économiques ainsi que la gestion agroécologique sont les thèmes poursuivis. La limitation du lessivage des nitrates et son impact sur les modifications des techniques culturales seront ajoutés. Ce projet doit permettre à la coopérative Qualisol de valoriser les productions issues d'une démarche agroécologique pour viser une performance économique durable des systèmes de cultures économes en intrants. Ce projet comporte la mobilisation des compétences extérieures afin d'apporter l'innovation dont l'enseignement agricole: Cité des Sciences Vertes de Toulouse et Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

[1] *CAS DAR* : Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural »

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent tout d'abord à mon directeur de thèse Monsieur Jean-Paul BORD (professeur des universités en géographie à l'Université Paul-Valéry Montpellier 3), ainsi qu'à mes deux encadrants Monsieur Philippe LE GRUSSE (enseignant chercheur à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier) et Madame Elisabeth MANDART (professeur associé à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier): Un grand merci à tous les trois de m'avoir donné la chance de vivre cette expérience riche sur le plan scientifique et humain. Merci de m'avoir appris à mener une réflexion scientifique, de m'avoir accordé votre attention et votre temps, de m'avoir fait bénéficier de votre appui scientifique et académique précieux ainsi que de vos expériences et conseils, de m'avoir soutenue jusqu'à la fin malgré les difficultés et de m'avoir encouragée pendant les moments de doute tout le long de ce parcours.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse: M. Jean-Paul BORD, M. Philippe Le GRUSSE, M. Pascal MARTY (professeur de géographie à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon), Mme Élisabeth MANDART, Mme Thouraya SOUISSI (professeur d'agronomie à l'Institut National Agronomique de Tunisie) et Mme Sylvie MORARDET (chercheur IRSTEA à l'UMR G-eau Montpellier).

J'adresse aussi mes remerciements aux équipes du projet CASDAR "Post-MAET Gimone" et du Laboratoire d'Accueil Méditerranéen en Economie et Sciences Sociales (LAMES) qui ont soutenu financièrement ce travail de recherche.

Mes remerciements les plus vifs vont également à toutes les personnes qui m'ont aidé à me procurer les données, les documents et les logiciels nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche:

Monsieur Jacques FABRE pour le développement du logiciel "EToPhy", la programmation du calcul des Indicateurs de Risques de Toxicité sur l'Environnement (IRTE) et sur la Santé de l'Applicateur (IRSA), et pour m'avoir fourni les données nécessaires au calcul de ces deux indicateurs.

Les étudiants de la promotion 2014-2015 du master GAT (Gestion Agricole et Territoires) de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier pour leur participation aux enquêtes de terrain auprès des agriculteurs du groupe coopératif Qualisol.

Tous ceux que j'ai rencontrés durant cette étude: les agriculteurs, les techniciens et les ingénieurs du groupe coopératif Qualisol, ainsi que tout le personnel de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, notamment le service informatique et le centre de documentation, surtout Mme. Rafaèle Sarrade, pour leur accueil et leur aide.

Je suis reconnaissante à tous mes collègues et mes ami(e)s pour leur aide, leur encouragement et leur soutien scientifique et moral.

A titre personnel je souhaite remercier ma famille: mes parents, mon frère et mes deux sœurs pour leur amour, pour avoir cru en moi et pour avoir été toujours là même en étant loin.

Je dédie cette thèse à ma mère, la personne la plus chère à mes yeux.

RESUME

L'utilisation excessive de produits phytosanitaires permet de maximiser les performances économiques et productives, mais en contrepartie, l'environnement ainsi que la santé humaine et animale peuvent être fortement affectés du fait de leur toxicité. La réduction de l'utilisation de ces produits toxiques pour la conservation de l'environnement et la préservation de la santé humaine et animale est aujourd'hui une demande sociale. Il est devenu urgent d'investir dans des modèles plus durables permettant de diminuer voire de supprimer les risques. Une solution peut être la transition vers des systèmes de production agroécologique. Pour qu'ils soient durables, ces nouveaux systèmes doivent être performants sur les échelles agronomique, économique, sociale, environnementale et sanitaire. Une multitude d'outils d'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles, basés sur un ensemble d'indicateurs, existe pour les exploitations conventionnelles. En revanche, ces méthodes sont peu adaptées aux systèmes biologiques et agroécologiques, et ne permettent pas de mesurer la performance de transition agroécologique des exploitations agricoles. Ce travail de recherche interdisciplinaire, entre géographie et agronomie, a pour ambition de contribuer à la réflexion sur la possibilité de concevoir un outil d'aide à la décision et d'accompagnement du processus de transition agroécologique permettant d'évaluer la performance de cette transition, de proposer des scénarios d'amélioration et de simuler ultérieurement les conséquences de modifications possibles. Ce travail est basé sur l'utilisation conjointe et interactive de deux outils interdisciplinaires: des indicateurs de pression et d'impact ainsi qu'un SIG (Système d'Information Géographique) par lesquels sont exploitées les données issues de la recherche bibliographique et d'enquêtes auprès des exploitants. L'outil développé est testé dans le cadre d'un projet CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural) "Mobilisation collective pour l'agroécologie" en utilisant des données d'exploitations agricoles dont la plupart sont engagées dans une mesure agro-environnementale de réduction progressive des traitements phytosanitaires depuis 2008. Ce nouvel outil a permis de positionner les performances agroécologiques de ces exploitations par rapport à la situation optimale et de les comparer entre elles. Vu les objectifs de recherche et les approches traitées, cette présente étude constitue une étape originale pour la mise en place de stratégies de gestion agricole en faveur de l'agroécologie.

Mots-clés: produits phytosanitaires, risques, transition agroécologique, performance, durabilité, évaluation, outil d'aide à la décision, indicateurs, environnement, santé, SIG.

ABSTRACT

The excessive use of plant protection products enables farmers to maximise economic performance and yields, but in return, their toxicity can significantly affect the environment as well as human and animal health. There are currently strong calls for farmers to reduce the use of these toxic products for the preservation of the environment and of human and animal health, and it has become urgent to invest in more sustainable models that help reduce or even exclude these risks. Transition toward agro-ecological production systems could be a solution. To be sustainable, these new systems must be efficient agronomically, economically, socially, environmentally and in terms of health. There are many tools available, based on a range of indicators, for assessing the sustainability of agricultural systems on conventional farms. These methods poorly adapted to the organic and agro-ecological systems, and do not make it possible to measure the performance of agro-ecological transition of farms. This interdisciplinary research work between geography and agronomy aims to contribute to the reflection on the possibility of designing a decision-support tool for the process of agro-ecological transition allowing the assessment of this transition performance, to propose scenarios for improvement and to simulate later the consequences of possible modifications. This work is based on the joint and interactive use of two interdisciplinary tools: pressure and impact indicators, and GIS (Geographical Information Systems). These tools enabled us to exploit the data gathered from the bibliographic research and the surveys with the farmers. The developed tool is tested in the framework of a CASDAR (Special Assignment Account for Agricultural and Rural Development) project "Collective mobilization for agroecology" using data from farms, most of which have been engaged in agro-environmental process and in reducing plant protection treatments since 2008. This new tool helped position the agro-ecological performances of these farms in relation to the optimal situation and also compare them. Given the research objectives and approaches discussed, this study constitutes an original step for the establishment of strategies for the agricultural management in favour of agroecology.

***Keywords*:** plant protection products, risks, agro-ecological transition, performance, sustainability, assessment, decision-support tool, indicators, environment, health, GIS.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS _____ *I*

LISTE DES FIGURES _____ *IV*

LISTE DES TABLEAUX _____ *VII*

INTRODUCTION GENERALE _____ *1*

PREMIERE PARTIE: TRANSITION AGROECOLOGIQUE, MODELISATION ET AIDE A LA DECISION _____ *13*

INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE _____ *14*

CHAPITRE I : TRANSITION AGROECOLOGIQUE _____ **15**

1.1. Le changement du paradigme agricole _____ 15
1.2. Historique et évolution du concept agroécologique _____ 20
1.3. Définitions de l'agroécologie _____ 23
1.4. Objectifs, principes et caractéristiques de l'agroécologie _____ 26
1.4.1. Objectifs de l'agroécologie _____ 26
1.4.2. Principes et caractéristiques de l'agroécologie _____ 29
1.5. Les obstacles de la transition agroécologique _____ 31

Conclusion du chapitre I _____ **34**

CHAPITRE II : PRATIQUES ET INNOVATIONS AGROECOLOGIQUES _____ **35**

2.1. Exemples de techniques agroécologiques _____ 35
2.2. L'agroécologie entre l'adoption et l'innovation _____ 42
2.3. Développement de l'agroécologie _____ 46
2.4. Outils politiques et organisations internationales en faveur de l'agroécologie _____ 48

Conclusion du chapitre II _____ **51**

CHAPITRE III : ROLES DE LA GEOGRAPHIE ET DE LA MODELISATION DANS L'ETUDE DES PROBLEMATIQUES LIEES A L'ACTIVITE AGRICOLE ET DANS L'AIDE A LA DECISION _____ **52**

3.1. Le Paysage : un outil de conception de l'espace agricole _____ 52
3.2. La géoagronomie: modélisation spatiale de la transformation du paysage _____ 54
3.3. Evolution de l'échelle d'analyse : de la parcelle au territoire _____ 54
3.4. Aide à la décision dans l'entreprise _____ 58
3.5. Comportement des agriculteurs dans la prise de décisions _____ 59
3.6. Aide à la décision par modélisation _____ 60
3.6.1. Utilisation des Systèmes d'Information Géographique _____ 61
3.6.2. La simulation pour l'aide à la décision _____ 63
3.6.3. La cartographie pour l'aide à la décision _____ 63
3.6.4. Utilisation des cartes _____ 64

Conclusion du chapitre III _____ **66**

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE _____ *67*

DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION ET D'ACCOMPAGNEMENT POUR LE DIAGNOSTIC ET L'EVALUATION DU PROCESSUS DE TRANSITION AGROECOLOGIQUE ____ *69*

INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE ____ *70*

CHAPITRE IV : DURABILITE, DEVELOPPEMENT ET AGRICULTURE DURABLES 71

4.1. Développement durable ____ 71
4.1.1. Origine et évolution ____ 71
4.1.2. Dimensions ____ 72
4.2. Durabilité : élément fondamental du développement durable ____ 74
4.2.1. Stocks de capital ____ 75
4.2.2. L'efficience ____ 77
4.2.3. L'équité ____ 77
4.3. Agroécologie : modèle d'agriculture durable ____ 78
4.4. Les composantes de la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole ____ 82
4.4.1. Viabilité de l'exploitation agricole ____ 82
4.4.2. Vivabilité de l'exploitation agricole ____ 82
4.4.3. Transmissibilité de l'exploitation agricole ____ 83
4.4.4. Reproductibilité de l'exploitation agricole ____ 83

Conclusion du chapitre IV ____ **85**

CHAPITRE V : EVALUATION DE LA DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES & OBJECTIFS ET ORIGINALITE DE LA RECHERCHE ____ **86**

5.1. Evaluation de la durabilité des exploitations agricoles ____ 86
5.1.1. Méthodes d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles ____ 87
5.1.2. Exemples des méthodes d'évaluation de la durabilité ____ 88
5.1.2.1. Méthode IDEA : Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles ____ 89
5.1.2.2. Méthode RAD de Réseau Agriculture Durable ____ 91
5.1.2.3. Méthode DIALECTE: DIAgnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation ____ 92
5.1.3. Caractéristiques des méthodes d'évaluation de la durabilité ____ 93
5.2. Evaluation de la durabilité des exploitations agricoles en transition agroécologique ____ 96

Conclusion du chapitre V ____ **101**

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC ET D'EVALUATION DE LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE ____ **102**

6.1. Conception du modèle conceptuel ____ 102
6.1.1. Matrice objectifs & techniques agricoles ____ 103
6.1.2. Matrice techniques agricoles & moyens et caractéristiques de leur mise en œuvre ____ 104
6.1.3. Matrice techniques agricoles & impacts ____ 104
6.2. Mesure de la performance de transition agroécologique ____ 107
6.2.1. Identification des indicateurs et établissement de leurs équations ____ 109
6.2.2. Calcul des indicateurs ____ 116
6.2.2.1. Performance aux niveaux "Exploitation" et "Parcelle" ____ 116
6.2.2.2. Performance globale ____ 118
6.3. Acquisition et traitement des données ____ 120

Conclusion du chapitre VI ____ **121**

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE ____ *122*

TROISIEME PARTIE : RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS 123

INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE 124

CHAPITRE VII : CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE 125

7.1. Localisation et problématiques de la zone d'étude 125

7.2. Description des exploitations agricoles enquêtées 128

7.2.1. Caractéristiques générales 128

7.2.2. Caractéristiques des parcelles culturales 130

7.2.2.1. Localisation géographique 131

7.2.2.2. Types de sols 132

7.2.2.3. Irrigation 133

7.2.2.4. Pente 137

7.2.2.5. Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) & Indicateurs de risque de toxicité (IRSA et IRTE) 137

7.3. Motivations des exploitants 141

Conclusion du chapitre VII 142

CHAPITRE VIII : RESULTATS DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC ET D'EVALUATION DE LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE 144

8.1. Résultats aux échelles agro-environnementale et sociale 144

8.1.1. Résultats au niveau "Exploitation" 145

8.1.2. Résultats au niveau "Parcelle" 149

8.1.2.1. Résultats en fonction des exploitations agricoles 149

8.1.2.2. Résultats en fonction des cultures 156

8.1.3. Résultats au niveau "Global" 160

8.2. Résultats à l'échelle économique 168

Conclusion du chapitre VIII 169

CHAPITRE IX : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS 171

9.1. Analyse des résultats aux échelles agro-environnementale et sociale 171

9.1.1. Analyse des résultats au niveau "Exploitation" 171

9.1.2. Analyse des résultats au niveau "Parcelle" 180

9.1.3. Analyse des résultats au niveau "Global" 186

9.2. Amélioration des performances agro-environnementales et sociales globales 188

9.3. Analyse des résultats à l'échelle économique 199

9.4. Amélioration de la performance économique 203

9.5. Comparaison entre l'outil développé et la méthode IDEA 208

Conclusion du chapitre IX 212

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE 214

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE 217

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 225

ANNEXES 249

Annexe 1. Matrice objectifs & techniques agricoles (Trabelsi 2014) 250

Annexe 2. Caractéristiques des techniques et/ou actions agricoles et leur contribution dans la réalisation des objectifs 255

Annexe 3. Extrait de la matrice 2 : techniques agricoles & outils, moyens et caractéristiques de leur mise en œuvre (Trabelsi 2014) 271
Annexe 4. Matrice techniques agricoles & impacts (Trabelsi 2014) 273
Annexe 5. Indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) & Paramètres (Trabelsi 2015) 281
Annexe 6. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des modes et systèmes de production, et productions agricoles (Trabelsi 2015) 286
Annexe 7. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des niveaux Exploitation et Parcelle (Trabelsi 2015) 289
Annexe 8. Equations des indicateurs au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 295
Annexe 9. Equations des indicateurs au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 300
Annexe 10. Modes d'identification des paramètres des indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) (Trabelsi 2015) 301
Annexe 11. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 306
Annexe 12. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 316
Annexe 13. Grille de notation des indicateurs économiques (Trabelsi 2015) 318
Annexe 14. Grille de notation des IRTE et IRSA pondérés/ha (Trabelsi 2015) 320
Annexe 15. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques, IRTE et IRSA) au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 321
Annexe 16. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques) au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 325
Annexe 17. Questionnaire d'enquêtes (Trabelsi 2015-2016) 326
Annexe 18. Besoin en éléments (exportations) N, P, K des différentes cultures pour le calcul du bilan CORPEN 334
Annexe 19. Extrait de la base de données générale (données de l'exploitation 1) (Enquêtes de terrain 2015 -2016) 336
Annexe 20. Caractéristiques des parcelles culturales 338
Annexe 20.1. Carte des types de sols des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 338
Annexe 20.2. Carte de répartition des parcelles culturales irrigables et non irrigables (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 339
Annexe 20.3. Carte des pentes des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 340
Annexe 20.4. Carte de classification des IFT pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 341
Annexe 20.5. Carte de classification des IRTE pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 342
Annexe 20.6. Carte de classification des IRSA pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 343
Annexe 21. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" (Résultats de calcul 2015-2016) 344
Annexe 22. Les exploitations agricoles les plus performantes par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015-2016) 348
Annexe 23. Cartes des performances globales des exploitations agricoles (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016) (Réalisation Trabelsi 2016) 349

LISTE DES ABREVIATIONS

AASQA: Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air

ACI: Association Cartographique Internationale

ACTA: Association de Coordination Technique Agricole

ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADVA: Association Départementale de Vulgarisation Agricole

AFSSA: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

AIRD: Agence Inter-établissements de Recherche pour le Développement

ANAP: Association Nationale des Auxiliaires de Puériculture

ANR: Agence Nationale de la Recherche

AMM: Autorisation de Mise sur le Marché

ARAA: Association pour la Relance Agronomique en Alsace

ARBRE: Arbre de l'Exploitation Agricole Durable

ASA: Attributs des Systèmes Agroécologiques

BAC: Bassin d'Alimentation de Captage

CAMB: Coopérative Agricole Mâconnais Beaujolais

CAN: Community Agroecology Network

CANSEA: Climate Action Network-South East Asia

CARI: Centre d'Actions et de Réalisations Internationales

CASDAR: Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural

CAV: Cave coopérative Vinicole

CECA: Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier

CEEA: Communauté Européenne de l'Energie Atomique

CEPP: Certificats d'Economie de Produits Phytosanitaires

CIPAN: Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates

CIRAD: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CIRAF: Centre International pour la Recherche en Agroforesterie

CIVAM: Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

CNARQE: Commission Nationale de l'Agriculture Raisonnée et de la Qualification des Exploitations

CORPEN: Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement

CRDI: Centre de Recherche pour le Développement International

CSA: Comité de la Sécurité Alimentaire

DCE: Durabilité des Cultures Energétiques

DCP: Directive Cadre sur les Pesticides

DGCCRF: Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

DGER: Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche

DIAGE: Diagnostic Global d'Exploitation

DIALECTE: Diagnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation

DIALOGUE: Diagnostic Agri-environnemental Global d'Exploitation agricole

DRDR: Document Régional de Développement Rural

DVD: Digital Versatile Disc

EARL: Entreprise Agricole à Responsabilité Limitée

EBE: Excédent Brut de l'Exploitation

EISA: European Initiative for the Sustainable Development in Agriculture

FADEAR: Fédération Associative de Développement de l'Emploi Agricole et Rural

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

FARRE: Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement

FEADER: Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

FEOGA: Fonds Européen d'Orientation et de Garantie Agricoles

FIDA: Fonds International de Développement Agricole

FMI: Fonds Monétaire International

FRCA: Fédération Régionale des Coopératives Agricoles

GAEC: Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

GATT: General Agreement on Tariffs and Trade

GIEC: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GIEE: Groupements d'Intérêt Economique et Environnemental

GPS: Global Positioning System

GTD: Groupe Travail Désertification

HVE: Haute Valeur Environnementale

ICSU: International Council of Scientific Unions

IDA: Indice de Durabilité de l'Agriculture

IDEA: Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles

IFEN: Institut Français de l'Environnement

IFOAM: International Federation of Organic Agriculture Movement

IFT: Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires

INDIGO: Indicateurs de Diagnostic Global à la parcelle

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

INSERM: Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

IRSA: Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur

IRTE: Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement

IRTH: Indicateur de Risque de Toxicité Humaine

LMR: Limite Maximale de Résidu

MAE: Mesures Agro-environnementales

MAET: Mesures Agroenvironnementales Territorialisées

MDA: Ministère du Développement Agraire

MDRGF: Mouvement pour le Droit et le Respect des Générations Futures

OCDE: Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OCM: Organisations Communes de Marché

OGM: Organismes Génétiquement Modifiés

OILB: Organisation Internationale de Lutte Biologique

ONG: Organisation Non Gouvernementale

ONU: Organisation des Nations -Unies

PAA: Programme d'Acquisition d'Aliments

PAC: Politique Agricole Commune

PDRH: Programme du Développement Rural Hexagonal

PGM: Plantes Génétiquement Modifiées

PIB: Produit Intérieur Brut

PNAE: Programme National d'Actions Environnementales

PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences

PNATER: Programme National d'Assistance Technique et d'Extension Rurale

PNDAR: Programme National de Développement Agricole et Rural

PNUD: Programme des Nations-Unies pour le Développement

PNUE: Programme des Nations-Unies pour l'Environnement

POP: Polluant Organique Persistant

RAD: Réseau Agriculture Durable

RISE: Response-Inducing Sustainability Evaluation

SAFE: Systèmes Agroforestiers pour les Fermes Européennes

SAU: Surface Agricole Utile

SCV: Semi sous Couvert Végétal

SDEC: Schéma de Développement de l´Espace Communautaire

SIAD: Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision

SIG: Systèmes d'Information Géographiques

SRI: Système de Riziculture Intensive

SROP: Section Régionale Ouest Paléarctique

SMIC: Salaire Minimum Interprofessionnel de Croissance

UICN: Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UIPP: Union des Industries de la Protection des Plantes

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

URCA: Union Régionale des Coopératives Agricoles

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Photos prises lors de la visite de la ferme agroécologique Mas de Beaulieu (Trabelsi, 2013) 3
Figure 2. Deux exemples d'affiches collées (Trabelsi, 2014) 5
Figure 3. Carte représentant le dynamisme de la coopérative agricole Qualisol..... 8
Figure 4. Evolution de modes de production agricole en termes d'utilisation de produits chimiques (Réalisation Trabelsi, 2013) 16
Figure 5. Mots clés les plus fréquents dans les titres des 125 articles cités plus de 100 fois dans le Web of Science (2002-2011) (Schaller, 2013)..... 21
Figure 6. Changement temporel des échelles ou dimensions dans la définition de l'agroécologie (Wezel *et al.,* 2009) 25
Figure 7. La diversité des significations de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2009) 26
Figure 8. Schéma conceptuel de l'organisation des services des agroécosystèmes (Le Roux *et al*., 2009 - modifié d'après Zhang *et al.,* 2007)..... 28
Figure 9. Innovation selon Poole (2006) (Ngo Nonga, 2008) 44
Figure 10. Interaction entre paysage et pratiques agricoles (Brossier *et al.*, 2008)..... 53
Figure 11. Représentation simplifiée de la géoagronomie (Deffontaines, 2006) 54
Figure 12. Le système territoire vu par désagrégation et sous forme de graphe causal (Moine, 2014) 55
Figure 13. Illustration de la superposition des couches thématiques dans un SIG (Guernier, 2006) 62
Figure 14. Evolution des concepts et de l'implication des acteurs dans le développement durable (Delchet, 2004)..... 72
Figure 15. Les trois piliers du développement durable (Terrier, 2009)..... 73
Figure 16. Le concept du développement durable (Hertig, 2011)..... 74
Figure 17. L'approche de durabilité faible (Boutaud, 2002)..... 75
Figure 18. L'approche de durabilité forte (Boutaud, 2002) 76
Figure 19. L'approche socio-centrée du développement durable (Sébastien, Brodhag, 2004) 76
Figure 20. Les quatre piliers de la durabilité des exploitations agricoles (Landais, 1998) 84
Figure 21. Matrice d'interaction adaptée au système de grandes cultures (Girardin *et al.,* 1999) 87
Figure 22. Culture de la salade de l'exploitation 1, moulin à farine de l'exploitation 2 et couverture du sol entre les arbres fruitiers de l'exploitation 3 (Trabelsi, 2013)..... 97
Figure 23. La durabilité de trois exploitations par la méthode IDEA (Résultats de calcul 2014)..... 98
Figure 24. La durabilité économique de l'exploitation 1 par la méthode RAD (Résultats de calcul 2014)..... 99
Figure 25. La durabilité sociale et environnementale de l'exploitation 1 par la méthode RAD (Résultats de calcul 2014) 100
Figure 26. Présentation du modèle conceptuel (Réalisation: Trabelsi, 2014) 103
Figure 27. Présentation générale de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la transition agroécologique (Réalisation: Trabelsi, 2014) 108
Figure 28. Schéma explicatif simplifié du classement des paramètres des indicateurs du troisième groupe et d'établissement de leurs équations (Réalisation: Trabelsi, 2014) 116
Figure 29. Calcul de la performance globale des indicateurs à partir de la conjonction entre les deux niveaux "Exploitation" et "Parcelle" (Réalisation: Trabelsi, 2015)..... 119
Figure 30. Photos prises lors des enquêtes de terrain (Trabelsi - Janvier 2015) 120

Figure 31. Territoire du projet "Post-MAET Gimone": Extrait de la carte des captages prioritaires Grenelle en Midi-Pyrénées avec leurs enjeux et l'état des actions d'ores et déjà engagées (Agence de l'Eau Adour-Garonne, DRAAF et SRDOTR 2010)..... 126
Figure 32. Localisation des communes de la zone d'étude (BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 127
Figure 33. Localisation des exploitations agricoles enquêtées (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 128
Figure 34. Photos de deux parcelles culturales prises lors des enquêtes de terrain (Trabelsi, 2015) .. 131
Figure 35. Localisation des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 131
Figure 36. Localisation des parcelles culturales des exploitations 2, 3, 4 et 6 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 132
Figure 37. Types de sols de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 133
Figure 38. Répartition de quelques parcelles culturales irrigables et non irrigables (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 134
Figure 39. Le lac de la Gimone (Trabelsi, 2015) 134
Figure 40. Bassins versants délimitant la zone d'étude (BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 135
Figure 41. Le système Neste 136
Figure 42. Pente de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 137
Figure 43. Classification des IFT pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 138
Figure 44. Classification des IRTE pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 139
Figure 45. Classification des IRSA pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 140
Figure 46. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles sans cultures légumières (Résultats de calcul 2015)..... 147
Figure 47. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles avec cultures légumières & prairies (Résultats de calcul 2016)..... 148
Figure 48. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture & élevage: cas des cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage (Résultats de calcul 2015)..... 148
Figure 49. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 1 (Résultats de calcul 2015)..... 150
Figure 50. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 2 (Résultats de calcul 2015)..... 151
Figure 51. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 4 (Résultats de calcul 2015)..... 151
Figure 52. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 5 (Résultats de calcul 2015)..... 152
Figure 53. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 8 (Résultats de calcul 2015)..... 153

Figure 54. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 11 (Résultats de calcul 2016) 153
Figure 55. Performances globales de toutes les cultures de l'exploitation 1 (Résultats de calcul 2015) 154
Figure 56. Performances globales au niveau "Parcelle" de toutes les exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016) 156
Figure 57. Performances agro-environnementale et sociale de la culture du soja (Résultats de calcul 2015-2016) 158
Figure 58. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Global" (Résultats de calcul 2015-2016) 163
Figure 59. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la pollution des eaux et des sols (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 164
Figure 60. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la préservation de la ressource en eau (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 165
Figure 61. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'IRTE (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 165
Figure 62. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles sans cultures légumières (Résultats de calcul 2015-2016)..... 166
Figure 63. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles avec cultures légumières & prairies (Résultats de calcul 2015-2016)..... 167
Figure 64. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture & élevage: cas des cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage (Résultats de calcul 2015-2016)..... 167
Figure 65. Occupation du sol et IFT/ha des cultures de l'exploitation 1 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 190
Figure 66. Cours d'eau traversant les parcelles culturales de l'exploitation 1 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 191
Figure 67. Pente des parcelles culturales de l'exploitation 6 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)..... 197
Figure 68. Parcelles culturales des exploitations 1, 6 et 7 à haute pression phytosanitaire (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 198
Figure 69. Répartition des charges opérationnelles de l'exploitation 1 (Enquêtes de terrain 2015).. 205
Figure 70. La durabilité des exploitations agricoles par la méthode IDEA (Résultats de calcul 2016) 210
Figure 71. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Global" des deux exploitations biologiques en Ardèche et dans la Drôme (Résultats de calcul 2016)..... 211

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Les indicateurs de la méthode IDEA (Briquel *et al,*. 2001) 90
Tableau 2. Les indicateurs de la méthode RAD 91
Tableau 3. Les indicateurs de l'approche globale de la méthode DIALECTE (SOLAGRO, 2006) 92
Tableau 4. Les indicateurs de l'approche thématique de la méthode DIALECTE (SOLAGRO, 2006) 93
Tableau 5. Caractéristiques de trois exploitations testées (Enquêtes de terrain 2014) 97
Tableau 6. L'approche globale de trois exploitations par la méthode DIALECTE (Résultats de calcul 2014) 99
Tableau 7. Objectifs & Indicateurs des enjeux *Environnement*, *Protection de la culture*, *Santé* et *Société* (Trabelsi, 2015) 109
Tableau 8. Equations des indicateurs économiques (Trabelsi, 2015) 111
Tableau 9. Description des indicateurs du troisième groupe (Trabelsi, 2015) 114
Tableau 10. Seuils de performance des indicateurs économiques (Trabelsi, 2015) 118
Tableau 11. Classification de la performance agroécologique globale (Trabelsi, 2015) 120
Tableau 12. Caractéristiques générales des exploitations agricoles enquêtées (Enquêtes de terrain 2015-2016) 129
Tableau 13. Répartition de la SAU des exploitations agricoles enquêtées (en %) (Enquêtes de terrain 2015-2016) 130
Tableau 14. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" (Résultats de calcul 2015-2016) 146
Tableau 15. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Parcelle" des exploitations 1 et 11 (Résultats de calcul 2015-2016) 149
Tableau 16. Performances globales (en %) au niveau "Parcelle" de toutes les exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016) 155
Tableau 17. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Parcelle" des deux cultures blé dur d'hiver et colza semences (Résultats de calcul 2015) 157
Tableau 18. Les cultures les plus performantes par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015-2016) 159
Tableau 19. Origine de la performance globale des indicateurs (Trabelsi, 2016) 160
Tableau 20. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Global" (Résultats de calcul 2015-2016) 162
Tableau 21. Pourcentages de performance économique des différentes exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016) 168
Tableau 22. Classification de la performance économique des différentes exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016) 169
Tableau 23. Paramètres "Exploitation" spécifiques à chaque indicateur (Trabelsi, 2015) 172
Tableau 24. Paramètres "Exploitation" intervenant au niveau de plusieurs indicateurs (Trabelsi, 2015) 173
Tableau 25. Indices et pourcentages de performance agro-environnementale et sociale des exploitations 1, 3, 6 et 7 au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2016) 178
Tableau 26. Notes attribuées aux différents paramètres au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2016) ... 179
Tableau 27. Les cultures les plus performantes de l'exploitation 1 par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015 et 2016) 181

Tableau 28. Notes attribuées aux différents paramètres au niveau "Parcelle" (Trabelsi, 2016)..... 183
Tableau 29. Indices et pourcentages de performance agro-environnementale et sociale des cultures de l'exploitation 1 (Trabelsi, 2016)..... 183
Tableau 30. Regroupement des exploitations agricoles selon la performance économique (Trabelsi, 2016)..... 202

INTRODUCTION GENERALE

« *J'entends ce lieu intime où chaque être humain peut en toute liberté prendre la mesure de sa responsabilité à l'égard de la vie et définir les engagements actifs que lui inspire une véritable éthique de vie pour lui-même, pour ses semblables, pour la nature et pour les générations à venir* »

(Rabhi, 2008)

CONTEXTE SCIENTIFIQUE, OBJECTIFS DE LA THESE ET HYPOTHESES DE TRAVAIL

L'agriculture française a su très efficacement s'adapter à l'augmentation de la demande alimentaire après la seconde guerre mondiale. Grâce au soutien public (politique agricole commune, lois agricoles nationales, etc.), les modes de production agricole se sont fortement transformés et la productivité globale des secteurs agricoles et agro-alimentaires a augmenté simultanément. La mécanisation et l'utilisation d'intrants chimiques sont les principales sources de cette maximisation productive. Le secteur agricole a progressivement intégré l'usage des produits phytosanitaires ce qui a profondément modifié les systèmes de culture: des herbicides pour éliminer la concurrence des mauvaises herbes, des insecticides pour se débarrasser des insectes parasites puis, à partir de 1970, des premiers fongicides pour protéger les plantes contre les maladies (Aubertot *et al.*, 2007). Cette maximisation a connu un réel succès qui se caractérise surtout par des gains économiques importants, mais ce succès ne doit pas cacher des conséquences moins favorables comme la forte dépendance des systèmes agricoles aux énergies fossiles et les atteintes négatives à l'environnement ainsi qu'à la santé humaine et animale.

Aujourd'hui l'agriculture fait face à de nouveaux enjeux: l'augmentation des besoins de l'alimentation humaine et animale suite à une croissance démographique d'une part, d'autre part les nouvelles exigences de la société qui imposent une production agricole garantissant la sécurité sanitaire, la qualité nutritionnelle et le respect de l'environnement. En effet, selon le rapport des Nations Unies «*Perspectives de la population mondiale: révision de 2012* » publié au siège des Nations Unies à New York, la population mondiale actuelle de 7,2 milliards va augmenter au cours des douze prochaines années d'environ un milliard de personnes, pour atteindre 8,1 milliards en 2025 et 9,6 milliards en 2050. Cette croissance démographique sera plus rapide dans les pays les moins développés qui devraient doubler en taille, passant d'environ 900 millions d'habitants en 2013 à 1,8 milliard en 2050 (ONU, 2013). Ces nouveaux enjeux exigent la suppression des risques environnementaux et sanitaires liés à l'activité agricole, surtout à l'usage intensif de produits phytosanitaires et d'engrais chimiques, tels que les pollutions des eaux et des sols, la diminution de la biodiversité, l'apparition et le développement des maladies cancérigènes, etc. (Tilman *et al.*, 2002). Plusieurs études ont montré que les pesticides sont une cause de disparition de plusieurs espèces animales et végétales de grand intérêt écologique, telles que les abeilles domestiques (Celette *et al.*, 2009; Thompson, 2010) et sont à l'origine d'un grand nombre d'intoxications aigües et chroniques chez l'homme (Aktar *et al.*, 2009; Blair *et al.*, 2015; World Health Organization, 1990). Selon l'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), les personnes exposées professionnellement aux pesticides risquent de développer notamment la maladie de Parkinson (Magdelaine, 2013). Entre 2007 et 2009, les pesticides ont été détectés et quantifiés au moins une fois sur 92% des 2761 cours d'eau français analysés (Dubois, Lacouture, 2011). L'activité agricole doit donc sortir de l'impasse que constitue une excessive dépendance aux pesticides, vis-à-vis de sa compétitivité future. Dans ce contexte, et depuis

plus de 20 ans, la communauté européenne développe une législation qui vise la préservation de l'environnement et la protection de la santé humaine. Elle a progressivement encadré l'utilisation des pesticides par diverses réglementations en fixant des normes de contamination, des formalités d'autorisation d'utilisation des produits potentiellement dangereux et des obligations concernant l'état écologique des eaux et des milieux d'une façon générale. En complément, la Commission Européenne a développé en 2002 une communication intitulée "vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides" et, depuis, les pouvoirs publics ne cessent de mettre en place des mesures réglementaires et des stratégies de gestion basées sur des actions volontaires afin de diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires. L'agriculture conventionnelle a donc atteint ses limites, et il est temps de penser à d'autres modes de production permettant de diminuer voire de supprimer tous les risques. Il est nécessaire d'évoluer vers des pratiques agricoles permettant la préservation des ressources naturelles et la santé humaine tout en maintenant un haut niveau de performance productive. Afin de renforcer ce changement, les pouvoirs publics ont mis en œuvre des stratégies pour soutenir le recours à des techniques alternatives, voire à fournir des incitations financières pour leur adoption. Les MAE (Mesures Agro-environnementales) ou la création des groupes régionaux "Phytos", chargés de réaliser le diagnostic des zones à risques de la région et d'animer des actions de réduction des pollutions phytosanitaires sur des bassins pilotes pour toute la France, en sont des exemples. Plusieurs pays européens se sont d'ailleurs engagés dans des programmes chiffrés de réduction d'utilisation des pesticides comme le Danemark et la Suède en 1986 et la Norvège en 1991 (Aubertot *et al.*, 2007).

L'agriculture durable considère l'environnement comme un objectif de production et elle tient compte des acteurs locaux, du maintien des liens sociaux et préconise l'économie d'intrants. En plus des fonctions productives, elle reconnaît également des fonctions environnementales et sociales (Terrier, 2009). La réduction de l'utilisation de pesticides chimiques pour la préservation de l'environnement et de la santé humaine est aujourd'hui une demande sociale et il est devenu urgent d'investir dans des modèles plus performants permettant de diminuer les risques. Dès lors, il est nécessaire d'encourager tous les acteurs et principalement les agriculteurs à favoriser des projets agricoles plus durables. Entre une agriculture conventionnelle et une agriculture plus durable, la voie s'est largement ouverte pour le développement de modes de production intermédiaires ayant le même objectif mais avec des techniques de réalisations différentes. Il s'agit d'une évolution basée non seulement sur la réduction de l'usage de pesticides, mais aussi sur le degré d'intégration de nouvelles pratiques inspirées de la nature et des fonctionnalités des écosystèmes. L'agriculture raisonnée est caractérisée par la limitation volontaire de l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques, alors que l'agriculture intégrée vise à remplacer au maximum les intrants extérieurs par des processus naturels de régulation. À un stade intermédiaire, l'agriculture biologique interdit l'utilisation d'intrants chimiques et autorise celle des produits biologiques. Toutefois, même l'agriculture biologique commence à atteindre également ses limites: beaucoup de mécanisation, peu de prise en compte de la biodiversité et même le cuivre et le soufre, produits autorisés pour ce mode de production, vont être règlementés prochainement à cause de leurs effets nuisibles sur les sols. Il faudrait donc recourir à des itinéraires techniques et des systèmes de cultures innovants. La prise en considération des enjeux environnementaux et sanitaires nécessite d'accompagner les agriculteurs dans de nouvelles manières de produire. Les systèmes de cultures innovants sont des systèmes plus économes qui répondent aux enjeux émergents du développement durable, à savoir la réduction de l'usage des produits phytosanitaires, la préservation de la qualité des eaux, des sols et de leurs quantités et l'amélioration des performances énergétiques (Gonzales, 2013). La mise en place de ces nouveaux systèmes de culture nécessite une orientation vers une nouvelle vague d'innovations techniques, sociales et organisationnelles permettant de répondre aux enjeux

actuels (Messean *et al.*, 2010). En effet, la production de produits agricoles de qualité tout en respectant l'environnement, nécessite la combinaison de techniques agronomiques particulières dont la plupart sont connues et certaines sont novatrices, il s'agit donc de construire de nouvelles combinaisons (Gonzales, 2013). Dans ce contexte, et suite à l'évaluation de la politique de développement agricole proposée par le Ministre chargé de l'agriculture dans le cadre du comité interministériel pour la modernisation de l'action publique, l'avenir du dispositif de développement agricole doit tendre vers la performance économique, écologique et sociale de l'agriculture, impliquant ainsi la mobilisation des dispositifs d'expérimentation et d'accompagnement des agriculteurs vers l'intensification écologique, par conséquent vers la transition agroécologique (Potier, 2014). Selon Chevassus-au-Louis, Griffon (2008), l'intensification écologique vise la mise en place des systèmes de production innovants et durables sur des nouvelles bases scientifiques et des techniques agricoles de l'agroécologie. Cette nouvelle orientation a rencontré un succès certain à l'échelle mondiale et est devenue, depuis quelques années, un objectif majeur pour divers types d'acteurs et d'organismes car elle ne présente pas seulement un ensemble des pratiques agricoles, mais aussi une éthique de vie (Bonny, 2011). Les problématiques environnementales et sanitaires liées à un mode de production conventionnel, les différentes initiatives agroécologiques menées dans le monde entier ainsi que l'importance de s'engager dans des nouveaux axes de recherche et d'innovation nous ont motivés à aborder la thématique de la transition agroécologique et à étudier de près ses nombreuses composantes dans cette thèse de doctorat.

Au début de ce travail de recherche et afin de mieux comprendre le fonctionnement agroécologique à petite échelle, nous avons visité la ferme agroécologique Mas de Beaulieu de l'association Terre & Humanisme[2] située dans la commune de Lablachère, département de l'Ardèche en région Auvergne-Rhône-Alpes. C'est une ferme expérimentale d'environ un hectare qui comprend des jardins potagers nourriciers et pédagogiques, ainsi que des bâtiments dédiés au siège de l'association et à la formation (Figure 1).

Figure 1. Photos prises lors de la visite de la ferme agroécologique Mas de Beaulieu (Trabelsi, 2013)

[2] Fondée par *Pierre Rabhi*, l'association Terre & Humanisme – Pratiques écologiques et Solidarité internationale joue depuis une vingtaine d'années un rôle important dans la transmission de l'agroécologie, en France comme à l'étranger.

Les animateurs et/ou les formateurs de cette ferme sont des bénévoles qui viennent de tous horizons afin de travailler la terre avec bienveillance et gaité, d'échanger et de transmettre leurs connaissances théoriques et pratiques. En suivant leur leader Pierre Rabhi[3], fondateur de cette association, ils sont convaincus qu'une agriculture saine doit être basée sur le fonctionnement de la nature. Ils veulent montrer comment l'agroécologie peut être une solution pour sauver la société et satisfaire ses besoins. En se basant sur l'historique du site, ces animateurs présentent l'approche agroécologique développée du potager ainsi que les savoir-faire nécessaires à sa conduite. Ils partagent et échangent également leurs expériences agroécologiques avec les visiteurs. Au Mas de Beaulieu, ancienne terre à vigne, le sol est peu profond, constitué principalement de sables grossiers et de limons fins, difficile à travailler et humide. Il peut également être très dur quand il est sec. Or, malgré la présence d'un sol médiocre sous un climat difficile, les animateurs montrent qu'on peut produire des beaux légumes et des divers fruits avec des méthodes naturelles et peu d'eau. Ils expliquent par exemple comment le paillage peut limiter le tassement du sol dû aux fortes pluies ou l'évaporation liée aux rayons du soleil puissant et aux vents desséchant, et abriter également de multiples organismes vivant dans le sol. Ils présentent aussi les avantages de la rotation culturale en termes de lutte contre le développement des maladies et des ravageurs, etc. Le stockage de l'eau de pluie dans de grandes réserves ainsi que la réutilisation des eaux usées après leur traitement par la phytoépuration ou lagunage sont les seules ressources pour les besoins de l'irrigation dans cette ferme. La phytoépuration est un système d'assainissement individuel des eaux usées par les plantes. Elle utilise les bactéries naturellement présentes dans le système racinaire des plantes pour épurer l'eau. Les bactéries aérobies "mangent" les matières organiques et les transforment en matière minérale assimilable par les plantes. En retour, les plantes aquatiques fournissent de l'oxygène aux bactéries par leurs racines. Cette technique présente plusieurs avantages écologiques dans la mesure où elle réduit la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques et qu'elle ne nécessite pas d'énergie. La ferme montre aussi l'importance de la biodiversité dans la stabilité des écosystèmes. En effet, l'ensemble du site est traité comme un écosystème varié constitué de plusieurs éléments liés les uns aux autres d'une façon permanente (divers potagers, composts, arbres, haies, ruches, etc.). La ferme met à disposition des visiteurs, qui veulent en savoir plus et se lancer dans une aventure agroécologique, des catalogues, des manuels et des DVD (Digital Versatile Disc) comprenant de dessins explicatifs, de fiches techniques et de nombreuses informations pratiques. Selon ces animateurs et leur leader Pierre Rabhi « *on peut manger bio, recycler son eau, se chauffer à l'énergie solaire et exploiter son prochain. L'agroécologie doit être une alternative sociale* ».

L'agroécologie est devenue de plus en plus un thème d'actualité. En effet, plusieurs manifestations scientifiques (colloques, congrès, ateliers, etc.) dédiées à ce thème ont eu lieu un peu partout dans le monde. Elles mettent l'accent sur les différentes problématiques liées à l'agriculture conventionnelle et encouragent à produire autrement. Des définitions, des objectifs, des principes, des techniques et des témoignages ont été mis à l'honneur durant différentes manifestations auxquelles j'ai pu participer: le 8ème congrès de Bio-trace "Agents polluants: diagnostics et impacts sur notre santé et notre environnement" à Montpellier le 30-31 Janvier 2013; l'atelier scientifique "Biodiversité et Résilience des agroécosystèmes" à Montpellier le 07 Mars 2013; le salon des techniques bio et alternatives "tech & bio" organisé le 18-19 Septembre 2013 à Valence (France); l'atelier Agroécologie et territoires du

[3] *Pierre Rabhi*, paysan, écrivain et penseur français d'origine algérienne, est l'un des pionniers de l'agriculture écologique en France. Il défend un mode de société plus respectueux des hommes et de la terre et soutient le développement de pratiques agricoles accessibles à tous. *http://www.pierrerabhi.org*

GTD (Groupe Travail Désertification)[4] à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier le 22-23 Janvier 2014; l'animation scientifique Agroécologie-Intensification écologique des systèmes de culture "Protection agroécologique des cultures: principes, application sur le terrain, impact sur la biodiversité fonctionnelle" à Montpellier le 09 Décembre 2014; la journée interrégionale dédiée à l'agroécologie en zone méditerranéenne à Nîmes le 17 Décembre 2014; le 45ème congrès du groupe français des pesticides à Versailles le 27-29 Mai 2015, etc.

A travers tous ces événements, les participants veulent comprendre comment les pesticides chimiques entrainent des risques pour l'environnement et/ou pour la santé humaine, et comment le processus agroécologique peut réduire, voire supprimer, ces risques. Lors de ces manifestations scientifiques, de nombreuses définitions de l'agroécologie ont été proposées par des participants appartenant à des domaines différents. Par exemple, durant la journée interrégionale dédiée à l'agroécologie en zone méditerranéenne et organisée à Nîmes le 17 Décembre 2014, des définitions de l'agroécologie ont été écrites sur des affiches par différents participants. Ces affiches sont ensuite collées sur les murs de la salle (Figure 2). Ci-après, quelques exemples de ces définitions: *« L'agroécologie est un large éventail d'approches et de moyens, c'est une science, un mouvement ou une pratique »*; *« L'agroécologie est basée sur de l'Humain, il s'agit de revaloriser le monde agricole, de replacer l'agriculteur au centre des décisions et des objets de la recherche »*; *« L'agroécologie est une des torches qui aident à cheminer sur les abstrus layons menant au bien-être de nos enfants »*; *« L'agroécologie intègre les processus écologiques comme leviers de production et de durabilité dans les agrosystèmes »*; *« L'agroécologie est la capacité des producteurs d'aujourd'hui et de demain à produire en cherchant à répondre aux enjeux d'après-demain »*; *« L'agroécologie est une nouvelle démarche de raisonnement des agrosystèmes basée sur l'observation et l'intégration des multiples composantes du système de production »*, etc. La visite de la ferme agroécologique de l'association Terre & Humanisme, la participation à de nombreuses manifestations scientifiques ainsi que l'échange avec les animateurs et d'autres acteurs nous ont permis d'avoir une idée plus claire sur l'agroécologie, ses principes et ses techniques avantageuses.

Figure 2. Deux exemples d'affiches collées (Trabelsi, 2014)

[4] GTD: un réseau français d'acteurs de solidarité internationale mobilisés dans le domaine de la lutte contre la désertification. *http://www.gtdesertification.org*

Les agricultures font aujourd'hui face à de nombreux défis et doivent impérativement évoluer et s'adapter pour y répondre. Face à ces nouveaux enjeux, la France a lancé en 2012 son projet agroécologique[5]. C'est un projet mobilisateur et ambitieux qui cherche à réorienter l'agriculture afin de combiner performances économique, environnementale et sociale. Son objectif est que la majorité des exploitations françaises soit engagée dans l'agroécologie à l'horizon 2025. Il vise à faire de la France l'un des leaders de l'agroécologie dans le monde. Dans le cadre du PNDAR (Programme National de Développement Agricole et Rural 2009-2013), financé par le CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural), le ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt a lancé en 2013 un appel à projets « Mobilisation collective pour l'agroécologie »[6] qui s'inscrit dans le projet agroécologique pour la France. Cet appel à projets vise à préparer la mise en place des GIEE (Groupements d'Intérêt Economique et Environnemental) en encourageant et en augmentant la transmission de démarches collectives territoriales en faveur de l'agroécologie. Le projet "Post-MAET Gimone"[7] est parmi les projets retenus dont l'objectif est de poursuivre le travail avec des agriculteurs engagés dans une MAET (Mesure Agroenvironnementale Territorialisée) « réduction progressive de l'utilisation des produits phytosanitaires » depuis 2008 pour améliorer la qualité de l'eau du BAC (Bassin d'Alimentation de Captage) de Beaumont-de-Lomagne classé Grenelle. Beaumont-de-Lomagne est une commune du sud de la France. Elle est située en Lomagne dans le département du Tarn-et-Garonne (82) en région Occitanie, à 45 km de Toulouse (sud-est) et d'Auch (sud-ouest) et à 35 km de Montauban (nord-est). Son altitude moyenne est de 137 mètres environ et sa superficie est égale à 46.16 km² (4616 hectares)[8]. Ce projet a été mis en place afin de répondre à des enjeux majeurs au niveau de cette zone. En effet, la contamination des eaux par les matières actives et les nitrates ainsi que les phénomènes d'érosion et du ruissellement constituent les principales problématiques de ce territoire. Les résultats des analyses de l'eau brute de la Gimone[9] à Beaumont-de-Lomagne en 2009, 2010 et 2011 montrent des problèmes de pollutions phytosanitaires et du transfert des nitrates. La mise en place des stratégies de gestion et des pratiques agricoles permettant de diminuer ces pollutions (plantation des bandes enherbées, diminution de l'utilisation des pesticides chimiques, etc.) ainsi que le suivi de cette mise en place et de ses résultats sont donc les objectifs du projet "Post-MAET Gimone".

Ce projet interdisciplinaire est développé dans le cadre d'une démarche participative rassemblant trois partenaires: la coopérative agricole Qualisol, l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier et la cité des sciences vertes de Toulouse. La mise en œuvre des activités de gestion de ce projet et le suivi de sa démarche débutée en 2008 sont effectués par la société coopérative agricole Qualisol située à Beaumont-de-Lomagne. La coopérative Qualisol a été créée le 10 avril 1992 par la fusion de trois autres coopératives, à savoir la CAMB (Coopérative Agricole Mâconnais Beaujolais) née en 1929, la Coopérative de Larrazet née en 1934 et la CAV (Cave coopérative Vinicole) née en 1933. Depuis sa création, la coopérative Qualisol reste une coopérative dynamique, indépendante tout en s'impliquant dans de nombreux partenariats avec les coopératives de la région. Elle ne cesse de se développer. Elle a créé la filière volailles et ouvert un magasin à Moissac en 1994. En 1995, cette coopérative a adhéré à la centrale d'achat de l'URCA (Union Régionale des Coopératives Agricoles) pour les achats d'approvisionnements. En 2001, Qualisol s'est engagé dans les productions végétales biologiques avec

[5] *http://agriculture.gouv.fr/le-projet-agro-ecologique-pour-la-france*
[6] *http://agriculture.gouv.fr/appel-projets-casdar-mobilisation-collective-pour-lagro-ecologie*
[7] *http://agriculture.gouv.fr/post-maet-gimone-sur-le-bassin-dalimentation-du-captage-prioritaire-du-grenelle-de-beaumont-*
[8] *http://www.cartesfrance.fr/carte-france-ville/82013_Beaumont-de-Lomagne.html*
[9] Une rivière du sud de la France qui coule dans les départements des Hautes-Pyrénées, du Gers, de la Haute-Garonne et de Tarn-et-Garonne. C'est un affluent direct de la Garonne en rive gauche.

30 agriculteurs. Ils ont multiplié les pratiques agroécologiques sur leurs exploitations (assolement diversifié, faux semis, non labour, etc.) et adopté des techniques innovantes comme l'intégration de légumineuses dans les rotations. Un silo spécifiquement dédié aux productions biologiques a été construit en 2004 à Monfort (32) avec une capacité de stockage de 9000 tonnes. C'est en 2006 que les investissements de cette coopérative s'orientent vers la filière volailles. Elle ouvre donc le chantier de la construction de la poussinière à Malause et investit dans l'abattoir blason d'or. Depuis 2008, Qualisol a ouvert deux magasins Gamm vert à Castelsarrasin et Beaumont-de-Lomagne, et trois magasins Gamm vert Village à Meauzac, Vazerac et Lavit. Suite à des travaux d'extension menés en 2012, le silo construit à Monfort est devenu le plus gros silo de stockage Bio européen avec un volume total de 33 000 tonnes. La coopérative Qualisol assure la collecte des productions conventionnelles (Blé tendre, blé dur, blé de qualité, maïs, tournesol, orge, sorgho, colza, pois, etc.) et biologiques (blé tendre, soja, lin, maïs, sorgho, tournesol, pois, lentille, etc.) des différents producteurs répartis sur trois départements: Gers, Tarn-et-Garonne et Haute-Garonne. Elle assure également les approvisionnements nécessaires pour ses adhérents (produits phytosanitaires, engrais organiques et minéraux, semences certifiées, aliments pour le bétail, etc.) à travers de nombreux dépôts et points de vente situés en Tarn-et-Garonne. Qualisol est adhérente à la centrale nationale de référencements Invivo[10] afin d'échanger avec les autres coopératives sur leurs pratiques et leurs essais (Figure 3).

Pour comprendre les stratégies des agriculteurs et les conseiller, il est indispensable d'évaluer les performances de leurs systèmes de production. Pourtant, il n'existe pas encore beaucoup d'outils qui facilitent cette évaluation. De plus, malgré le développement de l'agriculture biologique et les normes de production certifiables, les méthodes capables d'évaluer la performance de ce genre d'agriculture sont encore en cours de recherche. En effet, de nombreuses méthodes d'évaluation à base d'indicateurs ont été développées depuis les années 90 afin d'évaluer la durabilité des exploitations agricoles conventionnelles, mais aucune méthode n'est spécifique à l'agriculture biologique et/ou à la transition agroécologique. Par conséquent, la question majeure qui se pose est celle de savoir *comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ?* Les méthodes d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles conventionnelles sont peu adaptées aux exploitations biologiques et agroécologiques, et ne permettent pas de mesurer la performance de transition agroécologique des exploitations agricoles. En effet, l'évaluation de la durabilité de trois exploitations biologiques qui a été faite au cours de ce travail de recherche à l'aide des méthodes IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), DIALECTE (Diagnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation) et RAD (Réseau Agriculture Durable) a donné des résultats différents, contradictoires et peu pertinents. L'objectif principal de ce travail de recherche est donc de concevoir un outil d'aide à la décision basé sur des indicateurs permettant d'évaluer les performances agro-environnementale, sociale et économique d'une exploitation agricole afin de l'accompagner dans sa transition agroécologique, et de proposer ultérieurement différents scénarios alternatifs d'amélioration en tenant compte de la viabilité économique, de la durabilité écologique et de l'équité sociale. Cet outil est conçu pour encourager les agriculteurs à réfléchir à leurs pratiques et aux évolutions possibles de leurs systèmes de production. Il permettra à chaque agriculteur de mesurer ses performances, de se comparer à d'autres et d'avoir des propositions d'amélioration.

[10] *Invivo* : est un groupe coopératif agricole français, qui rassemble 220 coopératives adhérentes qui est organisé autour de 4 pôles d'activités : Agriculture, Nutrition et Santé Animale, Retail et Vin. *http://www.invivo-group.com*

Figure 3. Carte représentant le dynamisme de la coopérative agricole Qualisol[11]

[11] Carte récupérée auprès de la coopérative Qualisol

Cette thèse de doctorat s'inscrit dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone". En effet, l'outil développé est testé dans le cadre de ce projet en utilisant les données de onze exploitants qui ont accepté d'être enquêtés et dont la plupart sont engagés dans une démarche agro-environnementale de réduction progressive des traitements phytosanitaires depuis 2008. Le choix de ces exploitants a été fait en fonction de leur disponibilité pendant la période des enquêtes (janvier 2015 et 2016). En outre, afin de vérifier la pertinence de l'outil développé, nous avons choisi de le tester sur les deux types d'exploitations, conventionnelle et biologique. L'approche adoptée dans cette présente étude couvre plusieurs disciplines, à savoir l'agronomie, l'environnement, la santé, l'économie, la géographie et la société. Elle est basée sur l'interaction de deux éléments: un outil de diagnostic et d'évaluation des performances agroécologiques construit à l'aide d'indicateurs agro-environnementaux, sociaux et économiques, et un SIG (Système d'Information Géographique) ou outil de modélisation utilisé pour présenter les données spatiales et géographiques.

Le processus de transition agroécologique est un processus dynamique qui se caractérise par différentes relations entre des objectifs, des techniques agricoles, des moyens, des outils de mise en œuvre et des impacts (techniques, environnementaux, économiques et sociaux). Des changements au niveau de ces relations peuvent intervenir en permanence. Un modèle conceptuel mettant en évidence ces différentes relations et basé sur trois matrices est donc construit à partir de la dynamique du comportement agroécologique. Des indicateurs renseignant sur les impacts des différents objectifs fixés préalablement, donc sur la performance du processus de transition agroécologique et répartis sur trois échelles agro-environnementale, sociale et économique sont établis en fonction de cinq enjeux: environnement, protection de la culture, santé, société et économie. En se basant sur un système de notation, des indices de performance sont attribués aux différents indicateurs permettant ainsi de positionner les exploitations agricoles par rapport à "un seuil de performance agroécologique" et de les comparer entre elles. Selon les résultats obtenus, des scénarios d'amélioration peuvent être proposés. En conséquence, des changements au niveau des objectifs et/ou des techniques agricoles vont être envisagés.

Les études agronomiques doivent tenir compte des interactions entre les processus environnementaux et les dynamiques territoriales. La parcelle et l'exploitation agricole ne sont que des éléments parmi d'autres dans une structuration paysagère instable. Le paysage est souvent réduit à sa dimension esthétique. En effet, les fonctions d'aménagement et d'organisation de l'espace ont été oubliées avec l'industrialisation de l'agriculture. Aujourd'hui, il est nécessaire de remettre le paysage au centre des projets agricoles à travers des démarches de spatialisation mobilisées par différentes approches car chaque exploitation agricole est considérée comme un projet d'espace, donc un projet de paysage. Le passage à l'agroécologie nécessite une réorganisation des paysages agricoles pour permettre à la nature de devenir une alliée et non une contrainte. L'originalité de l'agroécologie réside dans la création des paysages différents basés sur des liens entre la biodiversité et les fonctionnements écologiques des agrosystèmes. L'organisation spatiale des parcelles culturales d'une exploitation agroécologique est différente de celle en agriculture conventionnelle suite à la mise en place de nouvelles infrastructures agroécologiques (haies, bandes enherbées, bosquets, etc.). Il s'agit de coordonner des pratiques et des productions dans l'espace et dans le temps, et de supprimer les espaces mal ou peu utilisés au sein de l'exploitation agricole afin d'avoir un système de production à la fois efficace, durable, autonome et résilient. Les humains participent alors au changement des paysages agricoles en agissant directement ou indirectement sur l'espace géographique en l'utilisant, en l'aménageant et en le gérant en fonction de leurs objectifs. L'intervention humaine au niveau d'un paysage agricole peut être réalisée à

plusieurs niveaux: parcelle culturale, exploitation agricole, région, etc. La parcelle culturale constitue l'unité spatiale sur laquelle l'agriculteur met en pratique ses décisions techniques concernant les itinéraires techniques des cultures (traitements et fertilisation). L'exploitation agricole constitue l'unité de décision stratégique où l'agriculteur conçoit et gère son système de productions en fonction de ses objectifs (rotation des cultures, mise en place des infrastructures agroécologiques et/ou antiérosives, etc.). Dans cette présente étude, nous nous intéressons à l'intervention au niveau des deux échelles parcelle culturale et exploitation agricole. En effet, suite aux résultats obtenus lors de l'évaluation de la performance de transition agroécologique, des pistes d'amélioration sont proposées, par conséquent des changements possibles peuvent être apportés au niveau de la parcelle et/ou de l'exploitation agricole. Afin de mieux intervenir, il est nécessaire de connaitre les caractéristiques de l'exploitation agricole et celles de ses différentes parcelles (type du sol, pente, localisation par rapport à un cours d'eau, nature des produits phytosanitaires utilisés, etc.). Autrement dit, il est important de savoir la spécificité de lieu en question et sa description exacte car le choix du scénario approprié ainsi que sa mise en œuvre sont fonction de cette description. Dans ce contexte, la modélisation peut faciliter l'intervention en analysant et en représentant les caractéristiques souhaitées en fonction de certains paramètres. Pour cela, nous utilisons le SIG, outil de présentation spatiale, afin de stocker, traiter, analyser et présenter les caractéristiques de la zone d'étude, des onze exploitations étudiées et de leurs parcelles culturales. Le SIG permet également de faciliter l'aide à la décision au niveau du choix des pistes d'amélioration adéquates et de la mise en place des techniques et/ou actions agroécologiques en fonction des caractéristiques de milieu.

Pour répondre à nos objectifs, trois hypothèses ont été testées dans le cadre de ce travail de recherche:

- ✓ Les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles sont adaptées pour mesurer la performance du processus de transition agroécologique.
- ✓ Un modèle performant de diagnostic et d'évaluation des impacts des pratiques agricoles doit se baser à la fois sur des indicateurs de pression et d'impact.
- ✓ Les trois dimensions agro-environnementale, sociale et économique, essentielles pour évaluer la performance des exploitations agroécologiques, sont dépendantes les unes des autres: la performance de l'exploitation agricole au niveau de l'une de ces trois dimensions influence ses performances au niveau des deux autres.

ORGANISATION DU DOCUMENT

Ce document est structuré en trois parties:

La première partie, intitulée "Transition agroécologique, modélisation et aide à la décision", est dédiée à la présentation des concepts théoriques et opérationnels de la transition agroécologique, et des rôles de la géographie et de la modélisation dans l'étude des problématiques liées à l'activité agricole et dans les processus d'aide à la décision. Dans le premier chapitre, nous mettons l'accent sur la nécessité de changer le modèle agricole industriel actuel qui n'est plus approprié pour résoudre les différents problèmes liés à l'environnement et/ou à la santé humaine. Nous parlons aussi du cadre théorique de la transition agroécologique en identifiant ses objectifs, ses principes, ses caractéristiques et ses obstacles. Dans le deuxième chapitre, nous présentons le cadre opérationnel de la transition

agroécologique en se focalisant sur des exemples de pratiques et d'expériences agroécologiques, et en étudiant aussi la relation entre l'agroécologie, l'adoption et l'innovation. A la fin de ce chapitre, nous parlons des outils politiques et des organisations internationales qui sont en faveur de la production agroécologique. Les rôles de la géographie et de la modélisation dans l'étude des problématiques liées à l'activité agricole et dans les processus d'aide à la décision font l'objet du troisième chapitre. Nous expliquons ainsi comment la géographie, paradigme d'interface entre milieu naturel et société, et la modélisation, outil d'aide à la décision, offrent un cadre d'analyse pertinent pour le diagnostic et l'évaluation de la transition agroécologique. Nous montrons également comment la prise en compte de l'environnement avec toutes ses dimensions est parfois complexe car les facteurs d'impacts sont multiples et interagissent entre eux à différents niveaux.

La deuxième partie, intitulée "Conception d'un outil d'aide à la décision et d'accompagnement pour le diagnostic et l'évaluation du processus de transition agroécologique", est consacrée à la présentation des enjeux stratégiques du développement durable, de la notion de durabilité, de quelques méthodes d'évaluation de cette durabilité et de la méthodologie adoptée dans ce présent travail de recherche. Dans le quatrième chapitre, nous étudions en premier lieu le concept de développement durable et la notion de durabilité d'une manière générale, et nous montrons après leur relation avec la transition agroécologique à l'échelle de l'exploitation agricole. Le cinquième chapitre met l'accent sur la notion d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles et son importance pour la prise de décisions en présentant des exemples de modèles d'évaluation classiques. Nous montrons comment ces modèles classiques sont peu adaptés pour évaluer la durabilité d'une exploitation biologique en testant trois d'entre eux (IDEA, RAD et DIALECTE) sur trois exploitations biologiques situées dans la région française Auvergne-Rhône-Alpe. La démarche méthodologique développée dans ce présent travail de recherche afin de diagnostiquer et d'évaluer la performance du processus de transition agroécologique est présentée dans le sixième chapitre.

La troisième partie, intitulée "Résultats, analyses et discussions", est réservée à l'application de la méthodologie construite et à la discussion générale de l'approche adoptée. Dans le septième chapitre, nous présentons les caractéristiques de la zone d'étude, des exploitations agricoles étudiées et de leurs parcelles culturales. Nous parlons également des motivations personnelles des exploitants qui peuvent être à l'origine d'une conversion biologique ou agroécologique. Les résultats de l'application de la démarche méthodologique développée (de l'outil développé) sur onze exploitations agricoles situées dans la région française Occitanie sont présentés dans le huitième chapitre. L'analyse de ces résultats et leur discussion font l'objet du neuvième chapitre.

Un résumé des apports scientifiques, méthodologiques et analytiques étudiés dans ce travail de recherche est élaboré dans ***la conclusion générale*** en revenant sur l'importance des spécificités des systèmes de production et de la dynamique du comportement agroécologique dans l'évaluation de la transition agroécologique, et l'intérêt de l'utilisation d'un SIG (Système d'Information Géographique) dans cette évaluation. Les limites de cette présente étude ainsi que les perspectives qui peuvent être envisagées sont également développées.

VIVE L'AGRO-ÉCOLOGIE !
AGRICULTURE...
© Alexis Nouailhat

PREMIERE PARTIE : TRANSITION AGROECOLOGIQUE, MODELISATION ET AIDE A LA DECISION

INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE

Cette première partie est consacrée à l'état de l'art à l'origine du contexte de cette présente étude, de la problématique de thèse et aux orientations de recherches retenues en conséquence. Elle présente une synthèse bibliographique sur des approches adoptées dans notre étude: la transition agroécologique, ses différentes pratiques et innovations ainsi que les rôles de la géographie et de la modélisation dans l'étude des problématiques liées à l'activité agricole et dans l'aide à la décision.

Dans le premier chapitre est montré comment le modèle agricole industriel actuel n'est plus approprié pour résoudre les différents problèmes liés à l'environnement et à la santé humaine, et pourquoi il est nécessaire de changer de paradigme et de passer à une autre façon de produire. Ce chapitre explique aussi comment l'agroécologie a vu le jour suite à une évolution de modes de production agricole en termes d'utilisation de pesticides chimiques et de fonctions écologiques. Dans ce contexte, l'approche agroécologique, ses objectifs, ses principes, ses caractéristiques, les différentes raisons qui permettent de l'encourager ainsi que les obstacles qui peuvent la freiner sont identifiés.

Nous présentons dans le deuxième chapitre des exemples de techniques agricoles à mettre en œuvre pour réussir une transition agroécologique et garantir la stabilité d'une productivité systémique. La relation de l'agroécologie avec l'adoption et l'innovation est également mise en évidence en montrant l'importance des savoir-faire traditionnels et des connaissances scientifiques dans le développement des systèmes de production agroécologique. Nous approfondissons ainsi quelques exemples marquant ce développement dans le monde entier. Des mouvements sociaux et des politiques publiques peuvent contribuer au développement de l'approche agroécologique, pour cela des exemples d'associations, d'outils politiques et d'organisations internationales en faveur de l'agroécologie sont illustrés à la fin de ce chapitre.

Le troisième chapitre explique les rôles de la géographie et de la modélisation dans l'étude des problématiques liées à l'activité agricole et dans l'aide à la décision. L'agriculture et l'environnement sont liés l'un à l'autre et s'influencent mutuellement. La transition agroécologique peut transformer, améliorer et sauvegarder des paysages agricoles exceptionnels, mais en revanche certaines pratiques agricoles, comme le recours à des produits phytosanitaires chimiques et/ou biologiques, peuvent générer des problématiques environnementales (dégradation de la biodiversité et des habitats naturels, pollution des eaux, etc.). Aujourd'hui il est nécessaire de remettre le paysage, qui peut se présenter à différentes échelles (bassin versant, exploitation agricole, parcelle culturale, etc.), au centre des projets agricoles à travers des différentes démarches de spatialisation. Pour répondre à certaines questions, résoudre les problématiques environnementales liées à l'activité agricole et réussir un processus de transition agroécologique, il est nécessaire de tenir compte de l'environnement, avec toutes ses dimensions, dans la globalité du processus de production agricole. Ceci est compliqué car plusieurs paramètres peuvent intervenir à différents niveaux. Par conséquent, pour étudier ces problématiques, gérer et évaluer une transition agroécologique, trouver des solutions et prendre des décisions, il est primordial de prendre en considération le rôle joué par la géographie et la modélisation dans la gestion agricole. Plusieurs outils d'aide à la décision ont donc été développés pas les scientifiques pour apporter des réponses.

CHAPITRE I : TRANSITION AGROECOLOGIQUE

On a longtemps cru que l'intensification agricole, associant l'utilisation d'engrais et de pesticides avec une mécanisation accrue était la solution à l'insécurité alimentaire. Mais de nombreuses études de recherche en ont démontré les limites pour les écosystèmes et les sociétés humaines (surexploitation des ressources naturelles et dégradation de leurs qualités, apparition et développement de plusieurs maladies, etc.). En 2004, un rapport de l'IFEN (Institut Français de l'Environnement) a montré la présence de pesticides dans 96% des points de mesure retenus pour la connaissance générale de la qualité des eaux superficielles et dans 61% de ceux concernant les eaux souterraines (IFEN, 2004). Une étude publiée dans la revue PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences) de l'Académie Américaine des Sciences montre que la biodiversité locale des invertébrés dans les cours d'eau peut être réduite de 42% suite à l'utilisation des pesticides (Beketov *et al.*, 2013). D'après l'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), les personnes exposées professionnellement aux pesticides sont les plus susceptibles de développer la maladie de Parkinson (Magdelaine, 2013).

Le modèle agricole conventionnel n'est plus approprié pour résoudre les différents problèmes liés à l'environnement ainsi que la santé humaine et animale. La réduction de l'utilisation de pesticides est aujourd'hui une demande sociale et il est devenu urgent d'investir dans des modèles plus durables permettant de diminuer voire de supprimer les risques. Il est nécessaire que l'agriculture sorte de l'impasse que constitue une excessive dépendance aux pesticides, vis-à-vis de sa compétitivité future. « *Nous devons opérer une transition d'une agriculture productiviste, qui est certes très productive mais n'est pas durable, vers une agriculture durable qui est aussi très productive, mais à l'échelon de la ferme et non plus à l'échelon global des cultures. Nous devons aussi revaloriser le statut du paysan qui est toujours considéré tout en bas de l'échelle sociale. Nous devons faire en sorte que le métier agricole soit bien payé et récompensé à sa juste valeur. Le changement de paradigme va bien au-delà du champ ou de l'étable* », disait Hans Herren, président de l'Institut du millénaire de Washington, lors d'une audition organisée au parlement européen de Bruxelles le 4 octobre 2011. Dès lors, il est nécessaire d'encourager tous les acteurs, surtout les agriculteurs, à favoriser des projets agricoles plus durables en développant des alternatives aux pratiques conventionnelles et en recourant à des itinéraires techniques et systèmes de culture innovants, des systèmes plus économes qui répondent aux enjeux émergents du développement durable. Dans ce contexte, une solution peut être la transition vers des systèmes de production agroécologique.

1.1. Le changement du paradigme agricole

Entre une agriculture conventionnelle et une agriculture plus durable, la voie s'est largement ouverte pour le développement de modes de production intermédiaires ayant les mêmes objectifs mais avec des techniques de réalisation différentes. Il s'agit d'une évolution basée non seulement sur la réduction de l'usage de produits phytosanitaires, mais aussi sur le degré d'intégration de nouvelles pratiques inspirées de la nature et des fonctionnalités des écosystèmes (Figure 4).

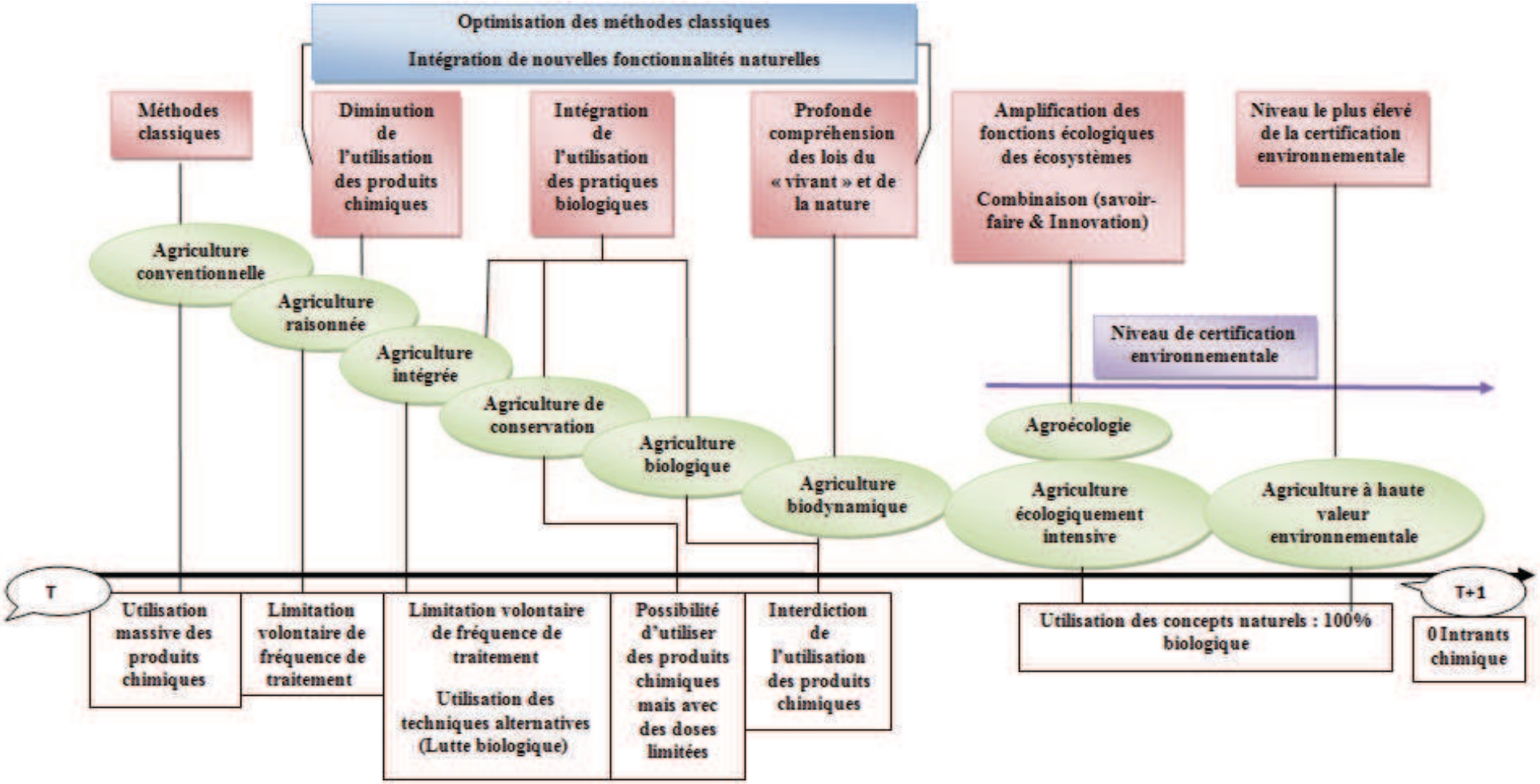


Figure 4. Evolution de modes de production agricole en termes d'utilisation de produits chimiques (Réalisation Trabelsi, 2013)

L'agriculture raisonnée (ou *Integrated Farming* en anglais) est une nouvelle démarche d'agriculture plus respectueuse de l'environnement. Elle est apparue à l'initiative de certaines organisations professionnelles agricoles, des industriels des produits phytosanitaires et des pouvoirs publics. Elle s'est développée pour répondre à l'usage systématique des engrais de synthèse, des pesticides et des nuisances que la production conventionnelle peut générer pour l'environnement et la société (Berton *et al.*, 2013). Elle est structurée au niveau européen par le réseau EISA (European Initiative for the Sustainable development in Agriculture) qui fédère depuis 2001 des associations professionnelles de six pays: Allemagne, France, Italie, Luxembourg, Royaume-Uni et Suède. Le référentiel national de l'agriculture raisonnée a été adopté concrètement le 8 janvier 2002. Un an plus tard, Hervé Gaymard, ministre de l'agriculture, annonce la création de la CNARQE (Commission Nationale de l'Agriculture Raisonnée et de la Qualification des Exploitations) lors des rencontres du FARRE (Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement). La qualification "agriculture raisonnée" est demandée par l'agriculteur et délivrée par un organisme certificateur après évaluation de la conformité de l'exploitation aux critères et de l'efficacité de son plan de contrôle (analogie avec la norme ISO dans l'industrie) (Laurent, Vieira Medeiros, 2010). Cette agriculture est caractérisée par la limitation volontaire de l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques. En effet, elle n'interdit pas leur usage dans les cas extrêmes tout en choisissant la période d'intervention et la dose appliquée. Les cultures et les animaux sont observés et surveillés de près afin de révéler la présence des êtres nuisibles et de suivre la nature de leur développement ce qui permet d'éviter les risques. Cette observation peut se faire à l'aide d'un ensemble de méthodes codifiées comme les contrôles visuels, les dispositifs de piégeage, etc. (Arrojo *et al.*, 2011; Berton *et al.*, 2013).

À la fin des années 50, l'expression "lutte intégrée" est apparue chez les entomologistes californiens pour qualifier un type de lutte contre les ravageurs qui allie la lutte biologique à des moyens de lutte chimique raisonnés. Dans les années 70, l'OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique) a inventé la "protection intégrée" en ajoutant des mesures phyto-techniques permettant de réguler les populations de ravageurs. L'agriculture intégrée est basée sur la combinaison de plusieurs techniques biologiques, mécaniques et chimiques ainsi que de moyens physiques (rotation des cultures, variétés résistantes, etc.) afin de lutter contre les ravageurs des cultures. Elle vise à remplacer au maximum les intrants extérieurs par des processus de contrôle et de régulation naturels ou biologiques: le concept de lutte biologique utilisé en agriculture intégrée qui consiste à utiliser des auxiliaires prédateurs des insectes parasites des cultures comme par exemple les coccinelles pour lutter contre les pucerons. Contrairement à l'agriculture raisonnée, l'agriculture intégrée ne possède pas un cahier des charges restrictif mais elle conserve une liberté maximale, dans le sens où il n'existe pas de recettes « prêtes à l'emploi », chaque agriculteur doit construire ou reconstruire son propre système selon ses contraintes environnementales, sociales et économiques locales (Ferron, 1999).

L'agriculture de conservation est un nouveau mode de production agricole promu depuis 2001 lors des conférences internationales bisannuelles sous l'égide de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Ce mode de production a commencé à être développé dans les années 90 (Serpantié, 2009). Depuis, il a connu une forte croissance au Brésil où il a été pratiqué à grande échelle. Il a gagné plus récemment l'Europe, mais reste encore marginal en Afrique. Cette agriculture vise à mettre en valeur plusieurs avantages comme la lutte contre l'érosion des sols, l'amortissement des aléas climatiques, la préservation de la ressource en eau, la limitation de l'utilisation des engrais et pesticides chimiques, etc. mais son objectif primordial est de retrouver une fertilité naturelle des sols.

Elle se base sur la réduction du travail du sol, sa couverture permanente par des cultures ou résidus de culture et la rotation des cultures (Arrojo *et al.*, 2011). Elle n'interdit pas le recours à des intrants chimiques mais avec de faibles quantités. Elle favorise donc les processus biologiques et étend les techniques de l'agriculture intégrée appliquées à la gestion des cultures et des ravageurs (FAO, 2006).

L'agriculture biodynamique interdit l'utilisation de produits de synthèse lors des traitements contre les maladies. Ce concept d'agriculture a été inventé par Rudolf Steiner, philosophe fondateur d'une science de l'esprit, au début du XXème siècle (en 1924) en se basant sur une profonde compréhension des lois du "vivant" acquise par une vision qualitative globale de la nature (Hollard *et al.*, 2012). Ce mode de production cherche à assurer la qualité du sol et des plantes pour offrir une alimentation saine en tenant compte du cosmos (influences des cycles du soleil, de la lune, des planètes, des étoiles et de la terre) et en jouant sur la rotation des cultures, l'apport de fumure et les calendriers culturaux (Arrojo *et al.*, 2011). Il dispose de divers cahiers des charges gérés par différentes associations comme *Demeter*[12] (Berton *et al.*, 2013).

La prise de conscience des enjeux environnementaux, les évolutions de la PAC et l'inquiétude de médecins sur la qualité de l'alimentation issue de l'industrialisation de l'agriculture contribuent à créer un contexte favorable à la reconnaissance et au développement de nouveaux modes de production et, en particulier, de l'agriculture biologique initiée en France depuis les années 1960. Depuis son apparition, ce mode de production a connu un certain nombre de changements comme la création de l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movement) en 1966 qui coordonne le réseau mondial des mouvements agrobiologistes. En 1991, le règlement CEE 2092/91 officialise l'agriculture biologique dans l'Union européenne et définit le mode de production biologique des produits agricoles végétaux. Ce dernier est fondé sur le respect de l'activité biologique de la nature en général et de ses cycles biogéochimiques particulièrement. Son principe est d'interdire toute utilisation de produits chimiques et d'OGM (Organismes Génétiquement Modifiés), et de prendre en considération les relations d'équité et les interactions qui existent entre les hommes et leur milieu naturel (Berton *et al.*, 2013). La production en quantité suffisante d'aliments de qualité en respectant l'environnement, en améliorant la fertilité du sol et en préservant la santé humaine constituent les objectifs de l'agriculture biologique. Toutefois, cette dernière commence à atteindre ses limites: beaucoup de mécanisation, peu de prise en compte de la biodiversité et même le cuivre et le soufre, produits autorisés pour ce mode de production, sont règlementés à cause de leurs effets nuisibles sur les sols. Dans ce contexte et suite à l'évaluation de la politique agricole proposée par le ministre chargé de l'agriculture dans le cadre du comité interministériel pour la modernisation de l'action publique, l'avenir du dispositif de développement agricole doit viser une performance économique, écologique et sociale. Ce dispositif doit impliquer la mobilisation des dispositifs de recherche, d'expérimentation et d'accompagnement des agriculteurs vers l'agriculture écologiquement intensive ou l'agroécologie (Potier, 2014) qui permet d'accroitre la production agricole par unité de surface en s'appuyant sur l'utilisation intensive des fonctions naturelles d'un écosystème (Bonny, 2010; Cassman, 1999).

Lancée fin 2011, l'agriculture à HVE (Haute Valeur Environnementale) a vu le jour suite au Grenelle de l'environnement qui la considère comme étant le niveau le plus élevé (après l'agriculture

[12] *Demeter* France est l'organisme de contrôle et de certification de l'agriculture biodynamique sur le territoire français. *http://www.demeter.fr*

biologique et l'agroécologie) de la certification environnementale des exploitations agricoles. Née du constat qu'il était difficile de valoriser la qualité environnementale des exploitations agricoles, la certification HVE valorise une démarche volontaire pour identifier et valoriser les pratiques plus particulièrement respectueuses de l'environnement. Elle se base sur quatre thématiques clés: la préservation de la biodiversité, la stratégie phytosanitaire, la gestion de la fertilisation et la gestion de la ressource en eau (Arrojo *et al.*, 2011). Le cahier des charges de ce type d'agriculture est fondé sur une démarche progressive à trois niveaux d'exigences: engagement dans la démarche (le respect de la réglementation environnementale qui est un point indispensable pour accéder aux autres niveaux), obligation de moyens sur le principe de l'agriculture raisonnée et obligation de résultats qui permet d'obtenir la mention HVE. En revanche, la certification de ce genre d'agriculture ne porte pas sur les aspects sociaux et économiques du développement durable (Berton *et al.*, 2013).

Les différents modes de production cités précédemment tentent tous de concevoir des systèmes de production plus durables. Or, il n'y a pas un modèle unique de durabilité en agriculture mais il s'agit d'une diversité d'approches culturelle, sociale et technique. Chaque forme d'agriculture tend à être durable tout en maintenant sa spécificité dans l'appréhension et la réalisation de ses objectifs. L'agriculture durable ne constitue pas un seul modèle de pratiques applicable partout dans le monde. Les techniques agricoles apparaissent fréquemment en concurrence en termes de gain environnemental et économique, ce qui explique la présence de certaines modes de production présentant parfois les mêmes objectifs mais avec des techniques de réalisations différentes. L'agriculture durable doit être flexible, adaptable aux conditions locales et capable de durer dans le temps sans compromettre le potentiel de l'environnement en terme de productivité (Altieri, Nicholls, 2005). Le choix des techniques agricoles est fonction des conditions générales (caractéristiques de l'exploitation agricole, conditions pédoclimatiques, situations socio-économiques, etc.), des moyens et des objectifs de l'agriculteur. Chaque agriculteur doit adapter les techniques choisies à ses champs à travers des démarches d'expérimentations qui peuvent être menées d'une façon individuelle ou collective en présence d'autres agriculteurs, organismes ou conseillers de domaine.

Les lignes de l'agroécologie sont changeantes et dépendent de plusieurs paramètres: où l'on place le curseur écologique, les objectifs que l'on veut atteindre, les moyens de production dont on dispose ainsi que le contexte socio-économique et environnemental. L'agroécologie demande à arrêter tout lien avec les modes de raisonnement cloisonnés et les modes de production agricole descendants et uniformes. Chaque transition agroécologique doit être étudiée en fonction notamment du territoire (conditions pédoclimatiques et socio-économiques, et possibilités de débouchés) et des objectifs de l'agriculteur (santé, qualité de vie, etc.). L'agroécologie n'interdit pas l'utilisation des techniques agricoles "biologiques" ou "naturelles" des autres modes de production, ce qui a amené à une certaine confusion. En effet, plusieurs agronomes, sociologues, économistes et même biologistes confondent entre agriculture biologique et agroécologie. La conversion en agriculture biologique ne demande pas beaucoup de changements sur les systèmes de production. Le seul changement est le remplacement d'intrants chimiques par d'autres biologiques. Elle se limite donc à des changements mineurs de quelques pratiques agricoles sans toucher l'ensemble du système et l'orientation de l'exploitation. De ce fait, plusieurs militants critiquent la conversion biologique car selon eux elle ne peut pas résoudre les problèmes environnementaux et socio-économiques. L'agroécologie est un système plus complexe et plus profond qu'une simple substitution d'intrants dans lequel les techniques et les composantes de l'écosystème sont construites pour améliorer la régularisation des processus naturels. La transition

agroécologique est accompagnée par des changements majeurs concernant l'orientation et les stratégies de l'exploitation: c'est tout le fonctionnement de l'exploitation qui change.

Le passage d'un modèle agro-industriel à un modèle de production fondé sur des fonctionnalités naturelles demande des efforts importants. Pour que le nouveau paradigme remplisse les objectifs, il est nécessaire de rassembler le savoir des agriculteurs, la science et la technologie. Il nécessite la préparation d'un environnement en amont. Il faut que les contextes économique, institutionnel, réglementaire, social et culturel soient en accord avec la nouvelle orientation. Selon Griffon (2013), la nouvelle technologie écologiquement intensive est définie par une équation à quatre variables: *i)* l'effort quantitatif: l'accroissement des surfaces cultivées et de rendements doit se faire sous la contrainte de ne pas endommager l'environnement par l'utilisation élevée d'intrants chimiques et surtout la biodiversité par des vastes défrichements; *ii)* l'effort qualitatif: la demande en matière de qualité sanitaire des aliments se développe progressivement surtout dans les pays industriels où elle est devenue une exigence. Pour avoir cette qualité, il faut mettre en œuvre certaines réglementations; *iii)* la production de services écologiques: de nouveaux services écologiques sont demandés à l'agriculture d'aujourd'hui (entretenir les cycles naturels de l'eau et du carbone par la séquestration de la matière organique dans les sols, assurer la bonne qualité des eaux, contribuer à limiter les inondations et les incendies, conserver la biodiversité, etc.) et *iv)* l'adaptation au changement climatique.

1.2. Historique et évolution du concept agroécologique

Plusieurs origines historiques existent pour l'approche agroécologique. Elle est issue de nombreux courants venant de pays différents. Dans un cycle de conférences mises sur papier puis éditées sous le titre « *Le cours aux agriculteurs* », Rudolf Steiner (1861-1925) a donné les grands principes d'une agriculture basée sur les processus énergétiques interpellant l'agriculteur sur son rôle et sa responsabilité dans la société et vis-à-vis de l'environnement. Cet enseignement est appliqué après par Ehrenfried Pfeiffer (1899-1961) en donnant naissance à l'agriculture biodynamique. Cette agriculture s'est développée à la fin des années 1920 en Allemagne, en Suisse, en Angleterre, au Danemark et aux Pays-Bas. Durant la même période, Albert Howard (1873-1947) a mis au point le système de compostage "Indore"[13] en Inde qui est appliqué aux cultures industrielles et vivrières. Il a démontré que maladies et parasites sont les conséquences directes de l'effondrement de la vie du sol et de l'utilisation des engrais minéraux. En France, les principes d'une agriculture respectueuse de la vie n'ont été développés qu'après la seconde guerre mondiale, par des médecins et des consommateurs incriminant les pesticides dans les maladies (Hollard *et al.*, 2012).

Le terme "Agroécologie" apparait pour la première fois en 1929 sous la plume d'un agronome tchécoslovaque, Basil M. Bensin (1881-1973) (Hollard *et al.*, 2012). Mais il a fallu attendre beaucoup plus de temps pour voir réellement émerger le mouvement agroécologique. Jusqu'aux années 60, ce terme consistait uniquement en une discipline scientifique liée à la production agricole et la protection des plantes dont les racines sont basées principalement sur les disciplines de l'agronomie et de l'écologie. En 1965, l'écologue et zootechnicien allemand Tischler publiait le premier livre intitulé «Agroécologie». Dans cet ouvrage, il analysait les différents compartiments de l'agroécosystème et

[13] C'est la préparation du compost en couches. Le tas est construit sur une base de branches et de cannes, puis on y ajoute successivement: une couche de matériel organique difficilement décomposable, une couche de matériel organique facilement décomposable, une couche de fumier animal et une mince couche de terre.

leurs interactions, ainsi que l'impact de la gestion humaine des activités agricoles sur ces compartiments (Schaller, 2013). À partir de 1970, on assiste à une inflation de travaux scientifiques portant sur l'agroécologie qui est devenue de plus en plus connue en Amérique Latine et dans une moindre mesure aux Etats-Unis grâce à des chercheurs et scientifiques comme Miguel Altieri, Steve Gliessman, Richard Francis, etc. dont les travaux visaient à étudier les dommages entrainés par l'agriculture industrielle dans les cultures d'exportation en Amérique Latine. Suite aux mouvements écologistes, l'agroécologie est apparue en tant qu'ensemble de pratiques agricoles dans les années 80 et s'est rapidement trouvée mêlée à des mouvements sociaux émergents, et depuis, différentes branches de l'agroécologie se sont développées. L'agroécologie s'est construite au début grâce aux apports successifs d'agronomes et d'écologistes. Ensuite, plusieurs interventions d'agriculteurs, de géographes, d'historiens et d'anthropologues commencent à apparaitre pour arriver à une vision multidimensionnelle englobant des dimensions environnementales, sociales, économiques et éthiques (Lavorel, Boulet, 2010; Pérez-Vitoria, 2011; Wezel *et al.*, 2009). Le concept d'agroécologie a beaucoup évolué depuis des décennies. Le terme "agroécologie" est apparu dans la littérature dans les années 30 et depuis, il est de plus en plus utilisé dans la littérature scientifique. L'agroécologie a été adoptée comme sujet de recherche et de débat par de nombreux scientifiques et chercheurs dans plusieurs études, recherches, déclarations, travaux d'expertises, etc. Entre 1975 et 2012, l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) a répertorié 2 500 publications dans le Web of Science avec le mot clé "agroécologie" et plus de 33 000 publications internationales entre 2002 et 2011 avec des mots clés associés (écosystème, agriculture, conservation, terre, biodiversité, écologie, diversité, résilience, effets, etc.) permettant de définir l'intersection entre sciences agronomiques, sciences écologiques et biodiversité (Schaller, 2013) (Figure 5). Même dans l'enseignement supérieur, l'agroécologie est introduite dans plusieurs établissements en tant que discipline, en module spécialisé ou sous forme de master.

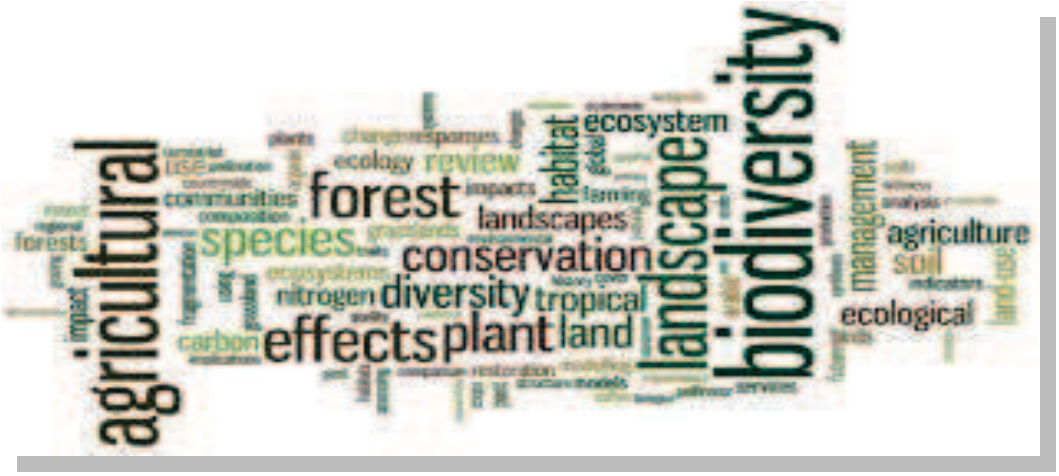


Figure 5. Mots clés les plus fréquents dans les titres des 125 articles cités plus de 100 fois dans le Web of Science (2002-2011) (Schaller, 2013)

L'agroécologie a fait l'objet de plusieurs publications, ouvrages et rapports scientifiques. Quelques exemples de travaux consultés durant ce présent travail de recherche sont mentionnés ci-dessous. Le choix de ces exemples n'était pas basé sur des critères précis.

Pierre Rabhi a mis en valeur sa propre expérience afin d'encourager le passage à l'agroécologie. Il a publié en 2001 son ouvrage *"L'offrande au crépuscule : témoignage"* dans lequel il témoigne de son

expérience qui l'a mené au Sahel depuis sa campagne ardéchoise pour développer l'agroécologie. Le contenu de cet ouvrage constitue une sorte de témoignage qui résume la contribution de l'auteur à transmettre aux populations défavorisées des pays en développement, des savoirs, des connaissances et des techniques agroécologiques adéquats avec leurs conditions.

Le SRI (Système de Riziculture Intensive) est un système basé sur les principes de l'agroécologie en mobilisant les potentiels biologiques des sols et des plantes. L'article d'Uphoff N. intitulé *"Reducing the Vulnerability of Rural Households through Agroecological Practice: considering the System of Rice Intensification"* publié en 2007, s'intéresse aux avantages de ce système. Dans cet article, l'auteur montre la possibilité de réduire la vulnérabilité des ménages pauvres et d'accroitre les rendements du riz par le recours à un SRI. Ce système permet de gérer d'une manière efficace les plantes, le sol, l'eau et les nutriments tout en diminuant à la fois la dépendance aux intrants chimiques, les coûts de production et le travail requis (Uphoff, 2007).

Le droit à l'alimentation est le droit de chaque être humain à se nourrir dans la dignité, que ce soit en produisant lui-même son alimentation et/ou en l'achetant. Par conséquent, ce droit implique que les États permettent aux individus d'utiliser leurs ressources pour produire et/ou de se procurer une alimentation adéquate pour eux-mêmes et leurs familles. En s'appuyant sur une analyse approfondie de plusieurs publications scientifiques, Olivier De Schutter[14] a publié en 2010 un article sur le droit à l'alimentation. Il étudie la façon dont les États peuvent réorienter leurs systèmes agricoles vers des systèmes plus durables et productifs. Il présente l'agroécologie comme un mode de développement agricole qui peut offrir des avantages complétant ceux qui découlent de méthodes conventionnelles (De Schutter, 2010).

Pour assurer la sécurité alimentaire et lutter contre la faim, les initiatives se multiplient aux échelles locale et internationale afin de développer une agriculture plus durable, à condition que les bailleurs de fonds et les pays en développement s'en saisissent. Dans ce contexte, des articles écrits par Estival L. et publiés en 2010 dans la revue "Alternatives économiques", incitent à renforcer l'aide internationale, à mettre en place des politiques publiques agricoles favorables et à adopter des modèles productifs écologiquement durables au Nord comme au Sud (Estival, 2010). D'après Robin (2014), la faim « *ne s'explique pas par un manque de nourriture au niveau mondial, mais par l'incapacité d'une partie de la population à y accéder, faute de revenus suffisants* ». Il s'agit surtout des paysans des pays en développement. Les faibles productions agricoles de ces paysans sont concurrencées par des importations de pays qui subventionnent leur agriculture ou qui bénéficient de conditions plus avantageuses pour la production (grandes exploitations, mécanisation développée, investissements des pouvoirs publics, etc.). En outre, la libéralisation des échanges depuis le milieu des années 1990, les a privés de débouchés et les a empêchés de retirer de leurs activités les ressources nécessaires pour développer et moderniser leurs exploitations. Ces petits paysans du Sud sont en réalité les victimes d'un sous-investissement dans le secteur agricole depuis plusieurs décennies, dont sont responsables les gouvernements nationaux et les bailleurs de fonds internationaux. Réduire la faim suppose donc de s'intéresser d'abord à ces petits paysans. Le développement des agricultures locales et la mise en place

[14] *Olivier De Schutter* est un juriste belge et professeur de droit international à l'université catholique de Louvain. Il a assumé entre 2008 et 2014, le mandat de rapporteur spécial pour le droit à l'alimentation du Conseil des droits de l'homme à l'ONU (Organisation des Nations Unies). Il est, depuis 2015, membre du Comité des droits économiques, sociaux et culturels de l'ONU.

des systèmes de production basés sur des techniques agroécologiques, donc des systèmes moins nocifs pour l'environnement et plus économes, peuvent répondre à l'impératif de sécurité alimentaire. Le rapport du Groupe de travail du Sahel, intitulé "*Echapper au cycle de la faim: les chemins de la résilience au Sahel*" rédigé par Gubbels P. en 2011, partage ces mêmes alternatives. Ce rapport donne un examen détaillé de la crise alimentaire chronique qui frappe les pays du Sahel. Il propose des recommandations pour suivre les "chemins de la résilience" en mettant l'accent particulièrement sur le rôle de l'agroécologie dans le renforcement de la résilience et des revenus (Gubbels, 2011).

Dans le même contexte, l'ouvrage de Dufumier M. intitulé *"Famine au Sud, malbouffe au Nord. Comment le bio peut nous* sauver" publié en 2012, présente l'agroécologie et la restauration de l'agriculture paysanne comme des solutions pour lutter contre la famine et la pauvreté des populations. Il fait apparaître les échecs du système capitaliste et des techniques de l'agriculture moderne, et recommande le développement d'une agriculture biologique. L'auteur met l'accent sur les effets néfastes de l'agriculture moderne sur la santé et l'environnement (utilisation des pesticides chimiques, destruction de la biodiversité, etc.). Il montre également comment la recherche agronomique s'est trop longtemps concentrée sur l'amélioration génétique alors que le rôle des agriculteurs ne se limite pas à la bonne conduite d'une culture ou d'un troupeau, mais consiste aussi à mettre en valeur des systèmes écologiques complexes. Dans cet ouvrage, Dufumier fait valoir que les techniques de l'agriculture biologique peuvent accroître les rendements sans entraîner des dommages pour les écosystèmes dans les régions du Sud (Dufumier, 2012).

L'agroécologie attire de plus en plus l'attention dans le monde entier et suscite plusieurs questions que se posent de nombreux acteurs sur ses techniques les plus adaptées, les expériences réussies et les avis de ceux qui l'ont adoptée. A travers une analyse scientifique rigoureuse et des exemples concrets, le rapport intitulé *"Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables - Paroles d'acteurs"* écrit par Berton S. et al. en 2013, fait apparaitre l'agroécologie telle qu'elle est pratiquée et vécue par ceux qui l'ont adoptée, et apporte des réponses à plusieurs questions posées. Ce rapport revient sur de nombreuses expériences agroécologiques réussies notamment au Niger, au Sénégal ainsi que dans le Nordeste Brésilien, et met également l'accent sur l'importance des politiques publiques dans le développement de l'agroécologie (Berton *et al.*, 2013). Le rapport *"Pesticides et agroécologie, les champs du possible",* écrit par Potier D. en 2014, présente la synthèse des témoignages de plusieurs acteurs collectés lors d'une mission confiée à cet auteur par le premier Ministre en vue de proposer une nouvelle version du plan Ecophyto. L'objectif de ce plan est de diminuer l'usage des produits phytosanitaires en France afin de concilier performance écologique et performance économique, et de préserver la santé publique. Le rapport montre la nécessité de sortir de l'impasse que constitue une excessive dépendance aux pesticides et présente les recommandations possibles dont le développement de la stratégie agroécologique fait partie (Potier, 2014).

1.3. Définitions de l'agroécologie

L'agroécologie est un concept dont la définition demeure polysémique (Stassart *et al.*, 2012). Il n'existe pas une seule manière de définir l'agroécologie. En effet, suite aux différentes démarches visant le développement d'une agriculture respectueuse de l'environnement, plusieurs appellations, terminologies et labellisations sont apparues pour désigner le même concept concernant l'utilisation des fonctionnalités naturelles des écosystèmes: *Agroécologie* (terme utilisé au CIRAD «Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement »), *Ecoagriculture*

(terme utilisé à l'UICN « Union Internationale pour la Conservation de la Nature »), *Agriculture de conservation*, *Agriculture écologiquement intensive*, *Intensification écologique* ou *Agriculture à haute valeur environnementale* (termes utilisés lors du Grenelle de l'environnement 2007) (Griffon, 2013). En revanche, malgré la diversité d'auteurs et des définitions, le principe de l'agroécologie reste le même: réduire voire supprimer l'usage excessif d'intrants classiques en se basant sur les interactions qui existent entre les différentes composantes d'un écosystème afin d'atténuer l'impact sanitaire et environnemental de l'activité agricole.

D'après Pérez-Vitoria (2011), les définitions de l'agroécologie se divisent surtout en deux grandes visions. La première est une vision au sens strict, agronomique et technique qui considère l'agroécologie comme l'application des principes de l'écologie à l'agriculture. La seconde est une vision beaucoup plus large où l'agroécologie ne désigne pas simplement des techniques appliquées à l'agriculture, mais il s'agit d'une prise en compte de la globalité de l'environnement dans lequel se situe l'agriculture. Elle consiste à intégrer les dimensions sociales, politiques et économiques. De ce fait, l'évolution du champ d'action auquel se réfère la définition de l'agroécologie permet de distinguer historiquement trois temps: *i)* l'agroécologie des systèmes productifs au sens strict, *ii)* l'agroécologie des systèmes alimentaires et *iii)* l'agroécologie comme étude des rapports entre production alimentaire et société au sens plus large (Stassart *et al.*, 2012).

Dans un premier temps, l'agroécologie se construit en fusionnant les principes de deux disciplines scientifiques l'agronomie et l'écologie : c'est « *l'application de l'écologie à l'étude, la conception et la gestion des agroécosystèmes durables* » (Dick, 1999). L'agroécologie vise à produire des connaissances et des pratiques agricoles permettant de rendre l'agriculture plus durable. C'est l'utilisation de la nature comme facteur de production en améliorant ses capacités de renouvellement. Elle permet de mieux comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes et de les optimiser en reproduisant les processus naturels et en favorisant des interactions et synergies biologiques bénéfiques entre leurs composantes pour mieux en tirer profit (Griffon, 2012). En effet, à travers ces interactions et synergies biologiques, l'agroécologie tente de concevoir une agriculture productive et moins nocive pour l'environnement et la santé humaine, d'éviter la surexploitation des ressources naturelles et de réduire le recours aux pratiques agricoles fondées sur l'utilisation intensive de pesticides (Bonny, 2010; Leterme, Morvan, 2010). Par la suite, le champ d'étude de l'agroécologie s'élargit au système alimentaire. Des auteurs clefs de l'agroécologie nord-américaine et leurs collègues scandinaves ont élargi le champ de l'agroécologie à l'ensemble du système alimentaire et ont associé les dimensions d'organisation de filière et de consommation à la dimension productive. Ce changement a permis d'intégrer les sciences sociales et les dimensions socio-économique et politique de la construction des systèmes alimentaires dans l'étude des questions agroécologiques (Stassart, Jamar, 2008). Dès lors, l'agroécologie est définie comme *« l'application de l'écologie à l'étude, la conception et la gestion des systèmes agroalimentaires. Elle est par définition une pratique interdisciplinaire qui implique une redéfinition des frontières scientifiques et sociales, ce qui constitue un défi intellectuel majeur pour la recherche en agronomie* » (Buttel, 2003). Cependant, depuis 2003 les scientifiques ne s'intéressent plus à la production au niveau de la parcelle ou dans un agroécosystème seulement, mais aussi à d'autres disciplines comme la politique, l'environnement, les échanges avec la société, la géographie, l'économie, etc. Selon les scientifiques, il faut prendre en considération le rapport entre sciences et sociétés: « *L'agroécologie n'est définie ni exclusivement par des disciplines scientifiques, ni exclusivement par des mouvements sociaux, ni exclusivement par des pratiques. Elle est appelée à devenir un concept fédérateur d'action intermédiaire entre ces trois*

dimensions » (Wezel *et al.*, 2009) (Figure 6). Tout le monde peut participer, suggérer et modifier les différents aspects agroécologiques. La recherche ne peut plus ignorer l'acceptation ou le refus des diagnostics d'experts et l'adoption de leurs produits innovants par les citoyens, les consommateurs et les acteurs sociaux.

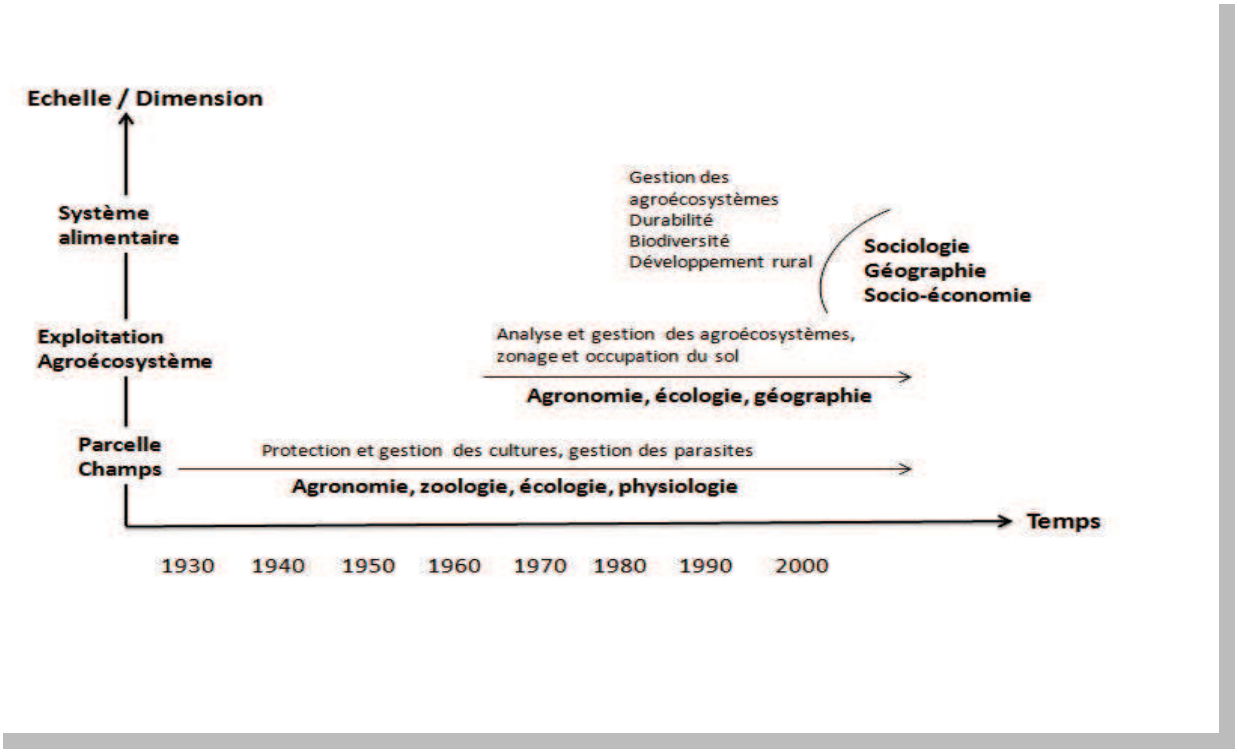


Figure 6. Changement temporel des échelles ou dimensions dans la définition de l'agroécologie (Wezel *et al.,* 2009)

Dans ce contexte, Altieri (1987) considère l'agroécologie comme la croisée de deux types de savoirs complémentaires: celui des scientifiques et celui des paysans. En effet, elle se base sur l'écologie, l'agronomie et d'autres disciplines scientifiques modernes comme la pédologie, la pathologie des plantes, etc. d'une part, et d'autre part sur les savoirs traditionnels des paysans. Selon le même auteur, l'agroécologie est « *une approche écosystémique du développement agricole qui s'inspire des techniques traditionnelles des paysans pour en tirer des connaissances scientifiques modernes* ». En outre, l'agroécologie est étroitement liée aux comportements humains, c'est bien « *plus qu'une simple alternative agronomique. Elle est liée à une dimension profonde du respect de la vie et replace l'être humain dans sa responsabilité à l'égard du vivant* » (Rabhi, 2001). D'après Silici (2014), ce mode de production constitue une harmonisation entre le système agricole, le potentiel productif et les limites physiques du paysage environnant en optimisant l'usage des nutriments et d'énergie sur l'exploitation agricole, et en diversifiant également les espèces et les ressources génétiques dans l'agroécosystème. Aujourd'hui, l'agroécologie désigne à la fois (Lavorel, Boulet, 2010):

-*Une discipline scientifique*: c'est l'application de la science écologique à l'étude, la conception et la gestion de systèmes agricoles durables basés sur des pratiques diversifiées visant à optimiser les processus naturels et à assurer la pérennité des ressources.

-*Un ensemble de pratiques*: c'est l'intensification de la production tout en respectant les équilibres naturels en limitant le recours aux intrants chimiques et aux énergies fossiles ainsi qu'en privilégiant le recyclage.
-*Un véritable mouvement social*: une agriculture durable respectueuse de l'environnement, économiquement performante et permettant un développement humain attaché particulièrement à la sécurité alimentaire et à la santé des populations.

L'agroécologie est appelée à devenir un concept contribuant à l'action intermédiaire entre ces trois dimensions. Il existe trois approches pour la discipline scientifique: une approche au niveau de la parcelle ou le champ, une autre au niveau de l'agroécosystème et une dernière au niveau du système alimentaire. La pratique, qui traduit la mise en place des techniques agricoles, reste généralement au niveau de la parcelle, mais si on parle d'un système polyculture-élevage, elle s'étend au niveau de l'agroécosystème. Pour le mouvement, on peut distinguer entre l'environnementalisme (par exemple les problématiques pesticides), le développement rural et le mouvement social ou politique pour une agriculture durable (Figure 7) (Wezel *et al.*, 2009).

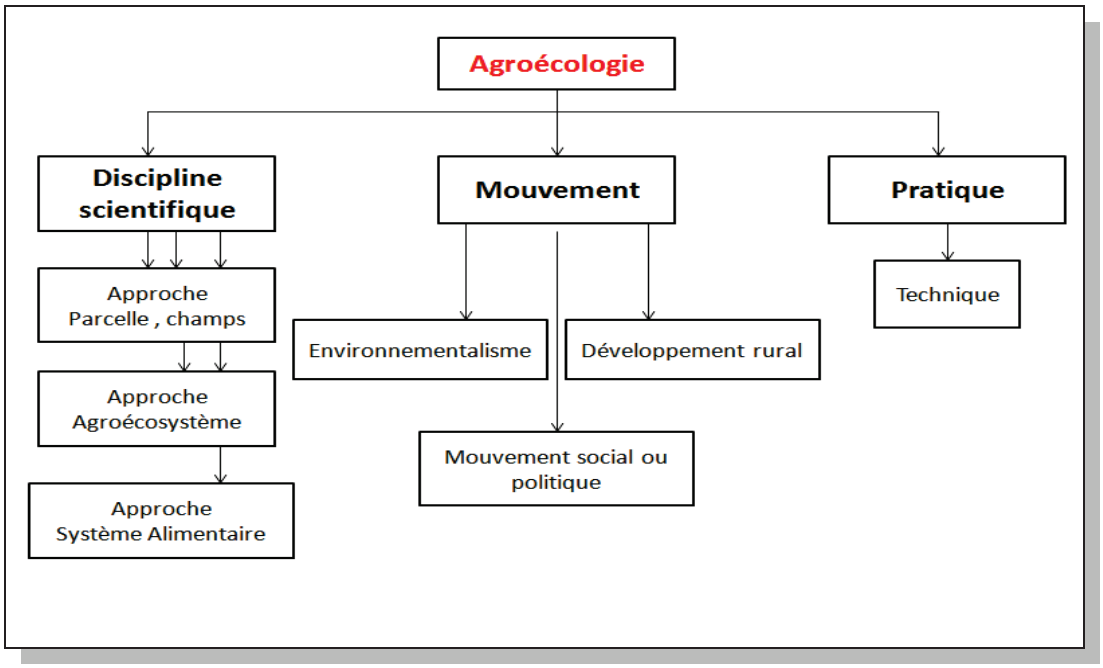


Figure 7. La diversité des significations de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2009)

1.4. Objectifs, principes et caractéristiques de l'agroécologie

1.4.1. Objectifs de l'agroécologie

En théorie, c'est impossible de poursuivre plusieurs objectifs en même temps car la satisfaction simultanée de nombreux objectifs peut être contradictoire. De ce fait, il est mieux de fixer des objectifs et de les classer selon un ordre de priorité de satisfaction. Il est possible également, d'après Griffon (2013) « *de définir des niveaux minimaux de satisfaction pour chacun des objectifs tout en conservant pour objectif principal le fait d'être maximisé* ». Par exemple, on choisit principalement de produire un

rendement maximum, mais sous la condition d'obtenir un niveau de résultat satisfaisant en matière de gestion de l'eau ou de stockage de carbone. Dans ce sens, l'agroécologie possède plusieurs objectifs dont la réalisation demande une certaine priorité de satisfaction selon le cas en question. L'adoption et la mise en place de techniques agroécologiques permettent d'atteindre trois catégories d'objectifs (Berton *et al.*, 2013; Castillo *et al.*, 2014):

Ecologiquement, l'agroécologie permet de développer une activité agricole moins polluante pour l'environnement, de conserver les différentes ressources naturelles (eau, sol, énergie, etc.) et de participer à leur renouvellement ainsi qu'à la restauration des écosystèmes dégradés. Elle favorise l'harmonisation optimale entre la culture et l'élevage. En effet, l'intégration de l'élevage dans les systèmes agricoles permet d'améliorer la fertilisation des sols et aide à s'adapter aux conditions climatiques aléatoires surtout dans les zones arides et semi-arides. Elle donne la possibilité d'avoir un bilan équilibré entre l'exportation et l'importation tout en évitant le gaspillage grâce à un bon recyclage des résidus et des déjections animales. Ce mode de production permet également la préservation ou l'accroissement du taux de la matière organique dans les sols afin d'améliorer leur fertilité et de lutter contre leur dégradation, leur érosion et leur lessivage grâce à plusieurs techniques (diversité des cultures et des élevages, association de plusieurs cultures sur la même parcelle, couverture permanente du sol, etc.). Il met en jeu des pratiques de bonne gestion de l'espace puisqu'il permet de prendre en considération le territoire dans sa globalité et de reconstruire des paysages harmonieux et adaptés à la diversité des situations géographiques et climatiques des cultures et des élevages, etc.

Sur les plans social et humanitaire, l'agroécologie renforce le lien producteur-consommateur par l'information sur les conditions de production, la transparence dans les garanties et la vente directe des produits agricoles. Elle renforce également la relation entre les différents producteurs en échangeant du matériel, des services, des expériences et des connaissances. Elle valorise les savoirs faire locaux techniques ou agronomiques et cherche des solutions pratiques pour les problèmes de l'insécurité alimentaire, la faim et la pauvreté. Elle permet de créer des emplois et d'accroitre la sécurité sanitaire des exploitants et consommateurs en réduisant, voire supprimant, l'usage des produits phytosanitaires dangereux pour la santé humaine, etc.

La conservation du partenariat local, régional, national et international; la diminution ou la suppression des coûts d'intrants (pesticides, engrais, eau, carburant, etc.); l'encouragement de la distribution de proximité; l'augmentation de la diversification des systèmes de production ainsi que des rendements à l'hectare; la diversification des débouchés et des réseaux commerciaux de vente, etc. sont tous des objectifs de l'agroécologie sur le plan économique.

L'agroécologie consiste à utiliser au mieux les fonctions des écosystèmes et les processus écologiques pour concevoir une agriculture productive et moins nocive pour l'environnement et la santé humaine, éviter la surexploitation des ressources naturelles et réduire le recours aux pratiques agricoles fondées sur l'utilisation intensive de pesticides, d'engrais chimiques et d'eau (Bonny, 2011; Leterme, Morvan, 2010). Pour une meilleure utilisation, il faut maintenir le fonctionnement de différentes fonctionnalités de l'agroécosystème et se baser sur les services écologiques que ces dernières peuvent fournir. Mais qu'appelle-t-on fonctionnalité et service écologique ? Les fonctionnalités écologiques se définissent comme les processus biologiques de fonctionnement et de maintien de l'écosystème, elles assurent sa capacité à faire face à des perturbations et à se maintenir dans un état favorable à la production

(Bouvron *et al.*, 2010). Une fonctionnalité écologique peut produire un ou plusieurs services écologiques (ou écosystémiques) qui sont en interaction continue. Par conséquent, ces services ne sont autres que les bénéfices que les hommes tirent du fonctionnement des écosystèmes (Reid *et al.*, 2005). Lavorel *et al.* (2008) proposent trois catégories de services: *les services intrants* contribuant à la fourniture de ressources et au maintien des supports physicochimiques de la production, et assurant la régulation des interactions biotiques (le maintien de la structure et de la fertilité des sols, le contrôle des bioagresseurs, etc.); l*es services de production* contribuant au revenu agricole où il s'agit essentiellement de la stabilité au niveau de la production végétale et animale tout en incluant la qualité des produits et l*es services des produits hors revenu agricole direct* qui sont délivrés au bénéfice de la société en général. Ils incluent le contrôle de la qualité des eaux, la valeur des paysages, la régulation du climat, etc. (Figure 8).

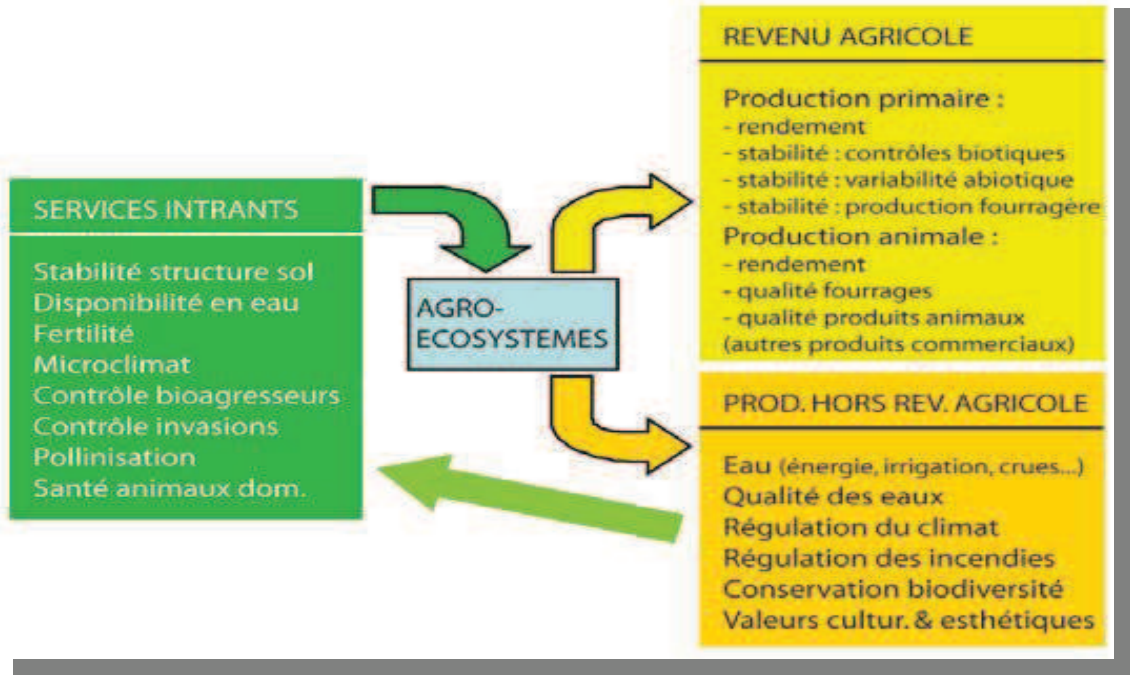


Figure 8. Schéma conceptuel de l'organisation des services des agroécosystèmes (Le Roux *et al.*, 2009 - modifié d'après Zhang *et al.,* 2007)

Un service écologique touche à des ressources sur lesquelles il peut y avoir des conflits d'usage comme l'eau, la forêt, la qualité de l'air, la biodiversité animale et végétale, le paysage, etc. Pour cela, le paiement d'un service écologique peut faciliter les relations qui existent entre la collectivité qui le fournit et celle qui en bénéficie. La rémunération des services écologiques rendus par les agriculteurs à la société est un point essentiel des décisions de politique publique, mais sa mise en œuvre n'est pas facile. En effet, les services peuvent être quantifiés en mesurant leur contribution au bien-être humain, mais cette quantification reste difficile car parfois on ignore leur contribution quantitative: combien faut-il utiliser d'une fonction de séquestration de carbone pour produire un quintal de blé par exemple. Pour lever cette ambigüité, des recherches actuelles tentent à décrire les services écologiques, appelés aussi services environnementaux, à étudier leurs conditions de réalisation et à évaluer leurs effets les plus divers.

1.4.2. Principes et caractéristiques de l'agroécologie

D'après Pérez-Vitoria (2011), trois principes doivent être principalement pris en compte pour comprendre l'agroécologie. Le premier principe est l'équilibre qui constitue une notion importante dans un processus de transition agroécologique. Il s'agit de l'équilibre du milieu naturel et de l'équilibre de l'homme avec le milieu naturel qui l'environne. Le deuxième principe est l'autonomie où il faut limiter au maximum tout genre d'intervention extérieure (autres organismes externes, intrants extérieurs, etc.). L'intégralité constitue le troisième principe. Il ne faut pas seulement prendre en compte la partie cultivée, mais la totalité du système car la partie non cultivée est très importante en termes de biodiversité. L'agroécologie préserve à la fois la biodiversité cultivée et la biodiversité naturelle ou on cultivée.

Selon Altieri (1987), l'agroécologie ne peut pas se limiter à la dimension technique, mais elle agit également sur d'autres dimensions. En effet, ce mode de production vise à appliquer des techniques et principes écologiques à l'agriculture où l'agroécosystème présente l'unité d'analyse de base. Or à côté de son continu technique, l'agroécologie se caractérise aussi par une dimension socioéconomique et culturelle. Elle permet de créer un mouvement de transformation des modes de gestion des écosystèmes et de l'environnement économique de la production dans une dynamique participative. L'intervention de l'agroécologie ne s'arrête pas à l'échelle de la production, mais elle s'étend à la consommation en passant par la commercialisation. Ce mode de production ne cherche pas seulement à apporter des solutions rapides aux problèmes environnementaux et sanitaires, mais aussi il tente à les articuler avec les technologies externes. En incitant à créer une équité entre les agents à travers des approches participatives, l'agroécologie cherche également à restaurer les coordinations à l'intérieur des systèmes sociaux, ce qui constitue sa dimension sociopolitique. Pour réaliser cette équité et améliorer les conditions de vie, il faut défendre les intérêts des paysans. Les formes de défense varient d'un pays à l'autre en fonction de leur poids démographique, leurs formes d'organisation et de représentation au niveau local et national, ainsi que de leurs alliances avec d'autres organisations professionnelles, syndicales ou politiques.

Le concept agroécologique est large, il définit une démarche qui peut partir de techniques simples et isolées et aller jusqu'à une gestion très complexe. Cette complexité nécessite du temps et de la patience, ce qui fait de la conversion vers des techniques agroécologiques une démarche progressive qui prend du temps. Cette conversion exige un changement au niveau de l'échelle d'analyse. Le recours à des processus naturels et écologiques amène les acteurs à dépasser leurs champs d'intervention habituels à l'échelle de la parcelle ou du troupeau et à considérer des échelles plus larges pour gérer la production agricole telles que l'exploitation agricole ou la région. La prise en considération d'une approche pluridisciplinaire est obligatoire lors du passage à des échelles plus grandes. En effet, des rapprochements disciplinaires entre la géographie, l'écologie, la sociologie et les sciences politiques sont constatés à l'échelle territoriale. Ces rapprochements sont importants pour mettre en évidence les différentes unités de paysage et tenir compte de la pluralité des acteurs impliqués dans le processus de l'intensification écologique. La transition agroécologique amène également à reconsidérer les processus d'apprentissage, d'accompagnement, d'appui-conseil et d'information. Une grande partie de l'agriculture conventionnelle repose sur l'application de recommandations techniques normatives (comme les doses d'engrais, de pesticides, etc.) alors que l'agroécologie nécessite de nouvelles compétences et connaissances techniques pour l'agriculteur et demande plus d'observations, de suivi ainsi que de contrôle des cultures et des animaux avant de

prendre ses décisions. Intensifier les mécanismes naturels signifie préalablement l'appui sur les écosystèmes et la connaissance de différentes interactions qui existent entre leurs composantes. Afin de mettre en place une nouvelle agriculture plus respectueuse de l'environnement et de la santé humaine, on doit réfléchir à nos modes de production et replacer l'environnement au cœur de nos préoccupations. « *Il faut entrer dans la "boîte noire" du vivant et mieux comprendre les processus biologiques fondamentaux des végétaux et le fonctionnement des écosystèmes (fonctionnement des peuplements végétaux complexes, durabilité des systèmes de production, meilleure valorisation des ressources naturelles, exploitation des espèces utiles)*» (CIRAD, 2009).

Les pratiques agroécologiques permettent d'augmenter les rendements agricoles. Cette augmentation est particulièrement très élevée quand les agriculteurs appliquent les techniques biologiques sur des systèmes utilisant peu d'intrants chimiques. En revanche, la question du rendement fait l'objet de plusieurs débats critiques, ce qui a poussé l'Institut Rodale aux Etats-Unis à mener différentes études et recherches sur cette question. Pendant 30 ans, les chercheurs ont comparé les performances de l'agriculture conventionnelle et biologique pour les trois grandes cultures américaines soja, blé et maïs qui sont cultivées sur des parcelles expérimentales côte à côte. Les résultats de recherche montrent que les rendements sont presque identiques pour les deux types d'agriculture, sauf pour les périodes de sécheresse où les rendements de l'agriculture biologique sont supérieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle. Cet écart est dû à la nature du sol: le sol cultivé d'une manière biologique est beaucoup plus fertile et capable d'absorber une bonne quantité d'eau et de la conserver pendant la période de sécheresse (Robin, 2014). Olivier de Schutter a montré dans son rapport «*Agroécologie et droit à l'alimentation* », présenté le 8 mars 2011 à Genève, que l'agroécologie peut doubler la production agricole du monde entier en dix ans tout en réduisant la pauvreté rurale (Hollard *et al.*, 2012). Dans le même contexte, l'évaluation systématique de l'impact de 286 interventions agroécologiques depuis le début des années 90 dans divers systèmes agricoles traditionnels de 57 pays en développement, réalisée en 2007 par Jules Pretty et son équipe, a montré une augmentation moyenne de 79% des rendements agricoles (Pretty *et al.*, 2006). Egalement, un accroissement de 113 % des rendements agricoles sur une période de trois à six ans a été constaté lors d'une étude réalisée à la demande du gouvernement britannique et couvrant 40 projets de promotion de l'agroécologie dans 40 pays africains (Pretty *et al.*, 2011).

L'agroécologie favorise à la fois la résilience de l'agroécosystème et l'autonomie de l'agriculteur. Ce dernier ne pourra réellement favoriser la résilience de son exploitation agricole que lorsqu'il deviendra complètement indépendant des semenciers, des fabricants d'intrants, des filières agroalimentaires, etc. Effectivement, le système productiviste de la révolution verte rend les agriculteurs excessivement dépendants de l'industrie agrochimique car ils n'arrêtent pas d'acheter des produits phytosanitaires, des engrais chimiques et des semences protégées par des brevets à des quantités et coûts élevés. A ces coûts vient s'ajouter celui de l'énergie qui ne cesse d'augmenter (Wiliquet, 2013). Cette dépendance augmente alors progressivement la vulnérabilité des agriculteurs et de leurs exploitations sans qu'ils ne s'en rendent compte. Cette vulnérabilité peut devenir de plus en plus critique en présence des systèmes monocultures, alors que quasiment aucune initiative n'a été prise en matière de conception de pratiques de gestion pour renforcer leur résilience. Contrairement aux systèmes monocultures, les agroécosystèmes diversifiés sont capables de s'adapter et de résister aux effets du changement climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes comme les fortes pluies, les inondations et la sécheresse. La résilience aux mauvaises conditions climatiques est étroitement liée à la richesse de la biodiversité de l'exploitation agricole puisque la diversification au sein des systèmes de cultures peut

réduire considérablement leur vulnérabilité. Des études faites sur la performance des exploitations agricoles suite à des phénomènes météorologiques extrêmes montrent que les agriculteurs mettant en place des systèmes de cultures diversifiés arrivent à faire face aux changements climatiques et à réduire les risques de mauvaises récoltes (Altieri, Nicholls, 2012). D'après Conway (1987), cité par Bar *et al.* (2011), la résilience est « *la capacité d'un agroécosystème à maintenir sa productivité lorsqu'il est soumis à des évènements perturbateurs majeurs, de toute nature* ». Cette capacité est évolutive dans le temps, elle est renforcée par les facteurs de protection dans l'agroécosystème.

Il existe plusieurs types de résilience. La résilience sociale est la capacité des groupes ou communautés à s'adapter aux conditions sociales, politiques ou environnementales externes à travers la consolidation des réseaux sociaux à l'échelle locale et régionale. La résilience écologique dépend de la résilience sociale car la société est étroitement liée à son environnement et ses systèmes écologiques. Par conséquent, la réduction de la vulnérabilité sociale peut renforcer la résilience des écosystèmes agricoles. Généralement, pour être résilientes, les sociétés rurales doivent prouver leur capacité à diminuer leurs vulnérabilités par le recours à des techniques agricoles plus adaptées à tout genre de perturbations (changement climatique, pic pétrolier, pénurie alimentaire, crises sanitaires et économiques, etc.) comme les techniques agroécologiques (Tompkins, Adger, 2004). Selon une enquête menée dans les collines de l'Amérique centrale après le passage de l'ouragan Mitch, un des plus puissants cyclones tropicaux, les agriculteurs qui ont mis en place des techniques agroécologiques ont subi moins de dégâts que leurs voisins pratiquant de la monoculture. Le sol de leurs parcelles "agroécologiques" est caractérisé par une forte humidité et une bonne qualité ce qui a réduit l'érosion. En outre, une étude menée sur plus de 1800 exploitations agroécologiques et conventionnelles proches les unes des autres au Nicaragua, au Honduras et au Guatemala a révélé que les parcelles cultivées avec des méthodes agroécologiques disposent de 20 à 40 % de couche arable supplémentaire ce qui augmente leur fertilité. Ces parcelles bénéficient d'une plus grande humidité du sol, souffrent moins de l'érosion, elles enregistrent donc moins de pertes économiques par rapport aux exploitations conventionnelles classiques voisines (Altieri, Nicholls, 2012).

1.5. Les obstacles de la transition agroécologique

Si la transition vers des systèmes de production agroécologique présente des avantages indéniables par rapport à l'agriculture conventionnelle, son adoption se heurte cependant à de puissants obstacles d'ordre technique et/ou humain et/ou socio-économique et/ou institutionnel.

Le passage aux systèmes agroécologiques nécessite un apprentissage de nouvelles pratiques et connaissances techniques que l'agriculteur doit s'approprier après une certaine hésitation. Pour atteindre une meilleure productivité, il est nécessaire de connaitre les fonctionnalités naturelles et maitriser leur utilisation: il faut bien connaître les prédateurs des ravageurs pour réussir une lutte biologique, il faut bien connaître le fonctionnement des sols pour en maîtriser la fertilité, etc. Il faut également apprendre à observer, suivre et analyser les situations afin de savoir réagir au bon moment et orienter les décisions. L'apprentissage concerne le choix des associations ou rotations en fonction du climat, la maîtrise du désherbage pour la bonne apparition du nouveau peuplement végétal, les observations des plantes et du milieu, etc. Cet apprentissage fait de la transition une opération délicate dans les deux dimensions, temporelle et spatiale. En effet, au sein de l'exploitation, l'installation d'une fertilité stable fondée sur des fonctionnalités écologiques (constitution de matière organique, utilisation de légumineuses, plantation d'une haie...) nécessite parfois beaucoup du temps pour pouvoir

relayer une fertilité d'origine chimique. Il faudrait conduire une véritable cure de désintoxication des parcelles agricoles (Berton *et al.*, 2013).

En outre, de nombreuses pratiques agroécologiques (fabrication de compost, agroforesterie...) sont souvent associées à des besoins de main d'œuvre plus importants que dans l'agriculture conventionnelle (Pimentel *et al.*, 2005; Ribier, Griffon, 2006) et leur rémunération est différée aux récoltes ultérieures. Cette nécessité importante du temps et de main d'œuvre remet l'agroécologie en question. En effet, plusieurs experts reprochent à l'agroécologie l'idée que le fait de demander plus de travail signifie l'augmentation de coûts de main d'œuvre, et donc une rentabilité économique réduite. Alors qu'en réalité dans le cas de l'agriculture familiale bien adaptée à une production agroécologique, le recours à la main d'œuvre extérieure est généralement ponctuel et assez rare. Dans ce cas, les politiques publiques des pays les plus pauvres sont-elles prêtes pour prendre en charge le différentiel de rémunération pendant les premières années de transition agroécologique ? (Berton *et al.*, 2013). En revanche, en agroécologie certains travaux pénibles sont supprimés, d'autres sont fortement réduits et même le calendrier de travail est assoupli (Ribier, Griffon, 2006).

La contrainte mentale ou culturelle peut freiner également la conversion agroécologique. C'est une sorte de méfiance par rapport à tout ce qui différent à la modernisation agricole où généralement les agriculteurs ont peur de faire autrement et pensent que le recours à l'agroécologie signifie le retour en arrière. En outre, l'agriculture des pays du Nord est fortement dépendante de l'utilisation des produits phytosanitaires, d'engrais chimiques et de semences commerciales. Les agriculteurs de ces pays sont attachés à cette dépendance, ce qui rend la transition vers une agriculture durable plus difficile dans ces pays que dans les pays du Sud. Le changement de modèle productif entraine des évolutions de dispositifs à différents niveaux (évolutions politiques, économiques, institutionnelles, etc.). Ces évolutions qui devront être cohérentes dans un contexte bien défini, vont se confronter au début à un ensemble de problèmes. Le passage à un nouveau paradigme productif nécessite alors l'acceptation de la nouvelle organisation de production agricole par les différents acteurs (producteurs, consommateurs, communautés, etc.). Cette acceptation sociale aide à réduire les conflits et à trouver des issues pour les obstacles éventuellement mis en route (Ribier, Griffon, 2006).

Pour certains l'agroécologie est une pratique isolée, utilisée seulement au niveau de quelques petites exploitations familiales et ne peut pas être mise en œuvre à grande échelle. Or, ce mode de production est adapté aux exploitations de toute taille et à différents degrés d'intégration sur le marché (Castillo *et al.*, 2014). A Cuba, 110 000 familles d'agriculteurs, membres de l'ANAP (Association Nationale des Auxiliaires de Puériculture), ont mis en place des pratiques agroécologiques. Ces familles assurent plus de 70 % de la production alimentaire du pays (67 % des racines et tubercules, 94 % du petit bétail, 73 % du riz et 80 % des fruits) (Rosset *et al.*, 2011). Depuis les années soixante-dix, le *ley farming*[15] est pratiqué dans des grandes exploitations agricoles en Australie (Ribier, Griffon, 2006). D'après le précédent rapporteur spécial des Nations Unies sur le droit à l'alimentation, la mise en œuvre des pratiques agroécologiques à grande échelle constitue l'un des principaux défis de notre époque. En 2012, le CSA (Comité de la Sécurité Alimentaire) a approuvé le cadre stratégique mondial pour la sécurité alimentaire et la nutrition en encourageant la transition agroécologique. Cette dernière peut être déployée à grande échelle, mais il faut juste la soutenir financièrement et lui offrir un

[15] Utilisation de cultures de luzerne annuelle comme culture de couverture pour le blé et permettant de renoncer au labour.

environnement réglementaire adapté. Ce cadre stratégique incite notamment les États membres du CSA et les autres parties prenantes à mettre en place des plans, des politiques et des lois conformes à une approche basée sur l'écosystème à l'échelle locale et nationale pour améliorer la performance agricole sur le plan social, économique et environnemental (De Schutter, 2010).

Le système de production conventionnel permet de maintenir des avantages économiques aux différents fournisseurs d'intrants chimiques qui n'ont aucun intérêt aux efforts que l'on fait pour encourager les agriculteurs à changer le paradigme et à réduire l'achat des pesticides. Ces fournisseurs mettent de fortes pressions sur les Etats qui défendent la vision de l'agriculture productiviste car elle correspond aussi à leur économie nationale. La dépendance de l'agriculture aux règles du commerce international est un obstacle majeur pour mettre en place une transition agroécologique. Suite à cette dépendance, il est nécessaire que les Etats, dont l'économie repose pour une partie importante sur une filière agroalimentaire puissante, comprennent que leur fonction est de conserver principalement le bien-être des populations et de l'environnement à long terme (Bachmann *et al.*, 2009; De Schutter, 2010).

La performance productive des exploitations agroécologiques varient dans le temps et dans l'espace. La variabilité dans le temps est liée à la position de l'exploitation par rapport à la date de sa conversion à l'agroécologie alors que la variabilité spatiale est liée aux conditions naturelles et climatiques du milieu. D'après Ribier, Griffon (2006), la durée et la faisabilité de la transition agroécologique dépendent majoritairement du potentiel de la région en termes de production de biomasse et de disponibilité en eau. Les régions caractérisées par un cycle végétatif long et une abondance en eau sont plus favorables à la production de biomasse in situ destinée aux mulchs[16], et donc à la transition agroécologique. Alors que dans les régions situées dans des conditions moins favorables (manque d'eau, cycle végétatif court, etc.), la biomasse est produite ailleurs afin d'être transportée et épandue par la suite sur les parcelles cultivées. Cela signifie des coûts élevés et donc un frein à l'adoption de pratiques agroécologiques. En termes de quantité, l'agroécologie ne produit pas beaucoup dans les régions où les potentialités offertes par l'écologie naturelle sont faibles. Au cours d'une transition agroécologique, l'évolution des rendements dépend des cultures, du niveau initial d'intensification du système de production et du niveau de sensibilité des productions végétales et animales. Une augmentation remarquable des rendements peut être constatée quand les agriculteurs appliquent les techniques agroécologiques sur des systèmes utilisant peu d'intrants chimiques. Or, l'évolution des rendements est généralement marquée par une chute, surtout lors des premières années de transition. En effet, les performances productives d'une exploitation agroécologique n'enregistrent un certain accroissement qu'après quelques années de conversion. Aux Philippines par exemple, le rendement moyen a faiblement baissé de 3,5 tonne/ha à 3,3 tonne/ha suite à une transition agroécologique de cultures de riz dans le cadre des actions promues par l'ONG Masipag auprès de 35 000 agriculteurs (Bachmann *et al.*, 2009).

L'adoption des pratiques agroécologiques sera plus facile et efficace si elle est faite d'une manière collective. En effet, la phase de transition est plus lente et délicate à gérer dans le cas individuel. C'est difficile pour l'agriculteur d'abandonner l'usage des produits phytosanitaires garantissant un bon rendement pour le substituer par des méthodes demandant plus de temps à être efficaces et à garantir

[16] Le mulch, ou paillis, est une couche de matériau protecteur posé sur le sol. Il peut être minéral, issu de végétaux ou de matières animales, et même être vivant (plantations).

des bons rendements. Les avantages attendus de la transition agroécologique en termes de stabilisation des rendements et de réduction des risques se réalisent certainement si cette transition est généralisée au sein de la zone de production (Ribier, Griffon, 2006).

Conclusion du chapitre I

L'insécurité alimentaire, le changement climatique et les problèmes liés à l'utilisation des pesticides chimiques exigent de trouver d'autres solutions alternatives et d'investir rapidement dans un modèle de production agricole plus durable. L'approche agroécologique, qui consiste à appliquer des concepts et des principes écologiques à la conception et à la gestion d'une agriculture durable, peut être une solution. Cette approche est apparue suite à une évolution basée non seulement sur la réduction de l'usage de pesticides, mais aussi sur le degré d'intégration de nouvelles pratiques inspirées de la nature et des fonctionnalités des écosystèmes. Malgré beaucoup d'obstacles qui pourraient la freiner, la transition agroécologique se caractérise par des atouts dont les objectifs permettent principalement de conserver l'environnement et de préserver la santé humaine et animale. Cette transition est fonction des conditions du territoire (conditions pédoclimatiques, conditions socio-économiques et possibilités de débouchés) et des objectifs de l'agriculteur. Elle suppose une gestion des techniques agricoles et des aménagements de paysage beaucoup plus complexes que la gestion de l'agriculture conventionnelle. Cette gestion ne doit pas se faire à l'échelle de la parcelle uniquement, mais au niveau des espaces plus larges qui se caractérisent par des interactions écologiques (comme les exploitations agricoles, les bassins versants…). Plusieurs pratiques et innovations sont mises en place pour une grande variété d'objectifs afin de réussir le passage à l'agroécologie. Des exemples de pratiques et d'innovations sont présentés et développés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II : PRATIQUES ET INNOVATIONS AGROECOLOGIQUES

Pour répondre aux enjeux actuels, il est nécessaire de s'orienter vers une nouvelle vague d'innovations techniques, sociales et organisationnelles. En effet, la production de produits de qualité tout en respectant l'environnement nécessite la combinaison de techniques agronomiques particulières dont la plupart sont connues et certaines sont novatrices (Gonzales, 2013; Messean *et al.*, 2010).

2.1. Exemples de techniques agroécologiques

Ci-dessous, nous présentons quelques exemples de techniques et/ou actions agroécologiques ainsi que leurs principaux avantages par rapport au système de production agricole et l'environnement qui l'entoure. Le choix de ces techniques et de l'ordre de leur présentation a été fait au hasard, aucun critère de sélection n'est pris en compte.

L'association de plusieurs espèces et variétés végétales*:* il s'agit de la culture simultanée de deux espèces ou plus de différentes variétés sur la même surface pendant une période significative de leur cycle de croissance (Willey, 1979). Les cultures peuvent être mélangées dans la même parcelle (semis d'un mélange de graines) ou cultivées en rangs et/ou en bandes alternées (cas de légumineuses implantées sous des cultures fourragères espacées). L'association de différentes cultures entraine l'amélioration de l'efficacité du système à différents niveaux. En effet, certaines cultures ont des effets répulsifs ou attractifs. Leur utilisation en bonne harmonie limite les attaques des parasites, réduit l'usage des pesticides, produit plus de biomasse, améliore la biodiversité et permet d'augmenter les rendements, la fertilité du sol ainsi que la résistance à la sécheresse. Les mélanges d'espèces offrent donc de nombreuses possibilités selon les objectifs fixés (ITAB, 2011; Walker, 2010).

Le principe des cultures associées est de cultiver ensemble des plantes dont les besoins fondamentaux se complètent: type de sol, besoin en eau, besoin en chaleur ou en éléments nutritifs, système racinaire, etc. L'association permet de mieux utiliser les ressources du milieu et de s'adapter aux variations du climat. Les différentes plantes poussent les unes à côté des autres, s'entraident, se protègent, se stimulent mutuellement et renforcent réciproquement leur santé, leur productivité et leur goût tout en échangent des substances avec leur environnement. Ces substances sont sécrétées par les racines, les feuilles, les fleurs ou les fruits. Il existe plusieurs types d'association, mais l'association entre céréales et légumineuses reste la plus connue et la plus courante. Les légumineuses sont capables d'établir des relations symbiotiques avec des microorganismes du sol de la famille des rhizobiums. Elles peuvent fixer l'azote atmosphérique grâce aux nodosités des racines et apporter à la plante associée non fixatrice d'azote, comme les céréales, une grande partie de ses besoins en azote (Altieri, 1987; Robin, 2014). L'association des cultures permet de bénéficier de la différence d'enracinement des plantes et d'une meilleure utilisation de l'énergie solaire. De nombreux travaux ont montré que l'essentiel de la concurrence entre végétaux se passe au niveau des systèmes racinaires. D'après Hollard *et al.* (2012), il s'agit d'une concurrence spatiale qui a amené les végétaux à développer deux stratégies d'adaptation différentes. La stratégie « *je prends la place qui reste* » est une stratégie d'adaptation morphologique

pour trouver sa place (racines pivotantes, racines foisonnantes, systèmes profonds, etc.). La stratégie « *je joue des coudes* » est une stratégie tactique biochimique pour se faire de la place en développant des exsudats racinaires qui freinent voire bloquent la vie des micro-organismes de la rhizosphère des plantes concurrentes. Il faut tenir compte de cette concurrence en choisissant les cultures à associer sur la même parcelle.

L'agriculture de conservation **ou** ***le semis sous couvert végétal*** consiste en la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle: le travail minimal du sol, sa couverture permanente et les rotations culturales (Altieri, 1987; Robin, 2014). Le semis est réalisé directement à travers la couverture végétale par ouverture de poquets (semis manuel) ou de lignes (semis mécanisé). Le choix et le succès des principes de l'agriculture de conservation dépendent des caractéristiques du sol (type, texture, structure, PH ...). Le mode de travail du sol peut influencer positivement ou négativement l'activité biologique des micro-organismes et la dynamique de la matière organique dans le sol. Le travail minimal du sol permet de ralentir la minéralisation et de la régulariser car il n'y a plus le pic d'oxygénation provoqué par le labour. De plus, l'arrêt de travail du sol (ou du labour) offre une meilleure protection aux agrégats protégeant la matière organique fraîche et une stabilisation de sa structure en maintenant la vie biologique (N'dayegamiye, 2007; Séguy *et al.*, 2009).

La rotation des cultures est une des techniques agricoles les plus utilisées et les plus connues dans le monde entier. L'alternance ordonnée et répétée de plusieurs cultures de différentes familles à enracinements variés, sur une même parcelle et sur de longues durées, permet d'augmenter la résistance du sol par des apports humifères varies, d'améliorer donc sa structure, sa fertilité et de réduire l'érosion. Elle permet également de lutter contre le développement des maladies et des ravageurs en perturbant leurs cycles et empêchant la sélection d'un certain type de flore, ainsi que d'améliorer l'abondance de différents oligo-éléments présents dans le sol. La rotation bio type est l'alternance de fruit-feuille-racine-engrais vert (Bonte, 2010).

Une couverture "vivante" est souvent utilisée pour assurer une couverture végétale permanente du sol. C'est une couverture végétale pérenne simplement contrôlée, sans être tuée, ce qui lui permet de poursuivre sa croissance après la récolte de la culture. Une couverture "morte" à base de matières organiques récoltées peut être également mise en place. Il s'agit de reproduire la litière forestière afin de bénéficier des avantages qu'elle peut offrir au sol et aux plantes. Vivante ou morte, la couverture végétale permanente permet de protéger le sol contre l'érosion, d'améliorer sa fertilité en développant des conditions favorables pour l'activité biologique, de piéger les éléments minéraux solubles, de limiter l'évapotranspiration en conservant la rétention de l'humidité du sol et de réduire la pression des adventices (Séguy *et al.*, 2009). Il existe plusieurs techniques pour avoir une couverture constante dans le temps et dans l'espace (Hollard *et al.*, 2012). Une culture dite dérobée est semée après la culture principale et avant la mise en place de la suivante. Le choix de cette culture est fonction de la saison, du temps disponible entre les deux cultures, de la nature du sol et de la rotation. Un paillage ou mulching permanent peut également être mis en place entre les rangs des cultures. Il consiste à recouvrir la surface du sol au pied de toutes les plantations avec un paillis qui peut être un matériau organique (feuilles mortes, tontes de pelouse sans graines, déchets secs des végétations, pailles de céréales, etc.), minéral (billes d'argile, déchets d'ardoises, etc.) ou en plastique. Cette couverture peut être faite de façon continue (film) ou discontinue (grains, fragments, etc.) (Huet, 2013; Loreau, 2014). Dans les régions caractérisées par un climat tempéré et des sols peu fragiles, les agriculteurs couvrent leurs sols à l'aide des cultures d'hiver, des cultures dérobées et des cultures associées comme le trèfle

et la céréale. Dans les pays où le climat est tropical, les agriculteurs utilisent traditionnellement des cultures associées décalées dans leur croissance (CARI *et al.*, 2008).

L'association cultures et élevage fait l'objet d'une nouvelle reconnaissance à l'échelle internationale en termes de durabilité des exploitations et des paysages (Herrero *et al.*, 2010). Cette association a été promue en Afrique subsaharienne et à Madagascar dès les années 60. Elle permet d'avoir des interactions et des synergies positives entre cultures et élevages. En effet, l'articulation entre l'agriculture et l'élevage permet de mettre en valeur les complémentarités entre les systèmes de culture (production fourragère pour des ateliers d'élevage intensif, fixation symbiotique de l'azote et recyclage des éléments minéraux) et les systèmes d'élevage (production de fumure organique de qualité afin de renforcer l'activité biologique des sols et le transit des éléments nutritifs exportés par les plantes, production d'énergie, etc.) afin de réduire la consommation de carburant, de fertilisants chimiques et d'aliments concentrés (Altieri, 1987; Dugué, Vall, 2010; Robin, 2014). Les espèces animales présentes au sein de l'exploitation peuvent développer entre elles des complémentarités. Les volailles élevées en plein champ assainissent les litières des vaches, moutons, etc. En grattant, elles trouvent des aliments bénéfiques à leur équilibre. Elles peuvent aussi agir sur les vergers et autres cultures pérennes en picorant certains ravageurs (vers, larves…) (Hollard *et al.*, 2012). L'entretien de la fertilité des sols est l'un des aspects les plus importants de l'association cultures et élevage. Cet entretien se fait par l'utilisation raisonnée de la fumure animale ou du compost qui permet d'améliorer la capacité de fixation et d'échange d'éléments nutritifs, les caractéristiques physiques des sols, leur résilience, leur vie biologique et les capacités de rétention de l'eau (Lhoste, 2004). Le compost provient de la transformation aérobie de déchets organiques d'origine animale et/ou végétale par le biais de microorganismes (bactéries, champignons, actinomycètes…). Une fois dans le sol, ce produit obtenu se transformera en humus (ADEME, 2012).

L'agroforesterie est un mode d'occupation du sol associant arbres et cultures annuelles sur une même parcelle (Liagre *et al.*, 2012). Le terme "agroforesterie" a fait son entrée dans la littérature scientifique en 1977. Il a été inventé par des chercheurs du CRDI (Centre de Recherche pour le Développement International) du Canada afin de résoudre les problèmes de déforestation tropicale causés par l'érosion (Nair, 1993). Ils cherchaient à trouver un remède à ce problème qui menaçait la sécurité alimentaire des pays tropicaux, et la solution qu'ils proposaient était de mettre en place un système associant des cultures agricoles et des arbres. L'agroforesterie est une pratique qui permet la restauration de la fertilité des sols. Cette restauration peut se faire grâce à la capacité des arbres à faire remonter, vers la couche arable, les nutriments lessivés par la pluie et transportés dans le sous-sol. Ces nutriments remontés vers la surface fabriquent de la biomasse qui constitue une source de matière organique utilisée directement par les cultures. Les feuilles des arbres qui tombent constituent également une source de matière organique pour les cultures (40 % de la biomasse d'un arbre retourne au sol chaque année) et une source de rétention de l'eau pour les sols. Le temps nécessaire pour la restauration des sols dépend des arbres utilisés, mais généralement il faut au minimum deux ans pour retrouver leur fertilité. Le choix des essences arbustives est fonction des besoins des agriculteurs : bois de chauffage, essences fruitières et oléagineuses, productrices de médicaments, haies de délimitation foncière, etc. (CARI *et al.*, 2008). En outre, cette pratique permet de lutter contre les ravageurs des cultures. En effet, contrairement aux monocultures, l'agroforesterie introduit la biodiversité dans les systèmes de culture ce qui diminue pratiquement l'attaque des ravageurs. De plus, les arbres offrent un bon microclimat, en apportant plus d'humidité et d'ombre, défavorable à la prolifération des ravageurs et des adventices (Altieri, 1987; Robin, 2014).

L'utilisation des plantes de service c'est-à-dire des espèces implantées dans le cadre de rotations ou d'associations de cultures dans le but de rendre un service à l'agrosystème autre que celui de la production (diminution voire suppression de l'érosion, maitrise des adventices et des ravageurs, fertilité du sol, préservation de la biodiversité, etc.). Certaines plantes de service sont des espèces cultivées (notamment des plantes fourragères) qui permettent éventuellement aussi de fournir un produit pour d'autres activités de l'exploitation (aliments pour le cheptel par exemple). Les plantes de service regroupent les plantes de couverture, les légumineuses, les plantes d'interculture, les engrais verts, les CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates), les plantes mellifères, etc. En rotation culturale, ces plantes peuvent fournir ou fixer l'azote, améliorer la structure et la fertilité du sol en apportant de la matière organique, limiter l'érosion en couvrant les sols, etc. En culture associée, elles permettent surtout de contrôler les adventices et les ravageurs (Blazy, 2011; Gervais *et al.*, 2011). Les engrais verts (sarrasin, avoine, seigle d'automne...) sont des cultures destinées à être enfouies dans le sol en surface, au stade vert (jeune). A ce stade, la plante est très riche en éléments solubles: azote, sucres simples et autres composés organiques facilement utilisables par les micro-organismes (Hollard *et al.*, 2012). Pour le choix de plantes de service, il faut tenir compte de la nature du sol, de la saison et de la culture qui va suivre. Il faut que la plante implantée soit adaptable aux différents contextes des exploitations (Blazy *et al.*, 2009). Toutefois, la présence de plantes de service peut entrainer une concurrence pour la nutrition hydrique et azotée avec la culture principale (Celette *et al.*, 2009). Par conséquent, lors de la sélection, il faut retenir non seulement les caractéristiques des plantes, mais aussi les conséquences d'une telle concurrence avec la culture principale (Den Hollander *et al*., 2007; Tixier *et al.*, 2011).

La technique de « push-pull » ou en français « répulsion-attraction » est parmi les techniques agroécologiques qui utilise les plantes de service. Créée par le Docteur indien Zeyaur Khan[17], cette technique permet de lutter contre les parasites du maïs et d'augmenter la fertilité du sol. A son arrivée en Afrique en 1993, ce docteur a constaté un certain nombre de problèmes comme la propagation de la pyrale de maïs et de l'herbe de sorcière (adventices qui se nourrissent des racines de maïs), ainsi que la présence de sols très peu fertiles. Face à ces problèmes, il a essayé de trouver une nouvelle technique pour repousser et attirer les insectes tout en contrôlant l'herbe de sorcière et en augmentant la fertilité du sol. D'où l'apparition de la technique de « push-pull ». C'est une technique de contrôle biologique adaptée qui repose sur l'action de deux plantes: le desmodium et l'herbe à éléphant qui ont été sélectionnées parmi 600 végétaux africains par le Dr. Zeyaur Khan suite à leurs performances biologiques. Le desmodium détruit les racines de l'herbe de sorcière, apporte de l'azote au sol à travers sa fixation et le protège de l'érosion. Cette plante constitue aussi un répulsif de la pyrale de maïs, quand les pyrales sentent le desmodium elles s'enfuient et partent vers l'herbe à éléphant plantée autour du champ de maïs. Cette herbe qui attire les pyrales produit une substance gluante permettant de tuer les larves des pyrales. En outre, ces deux plantes peuvent être utilisées comme fourrage pour les animaux (surtout les vaches) car elles sont riches en protéines, permettant ainsi la multiplication de la production de lait par 3 (Robin, 2014).

La mise en place des aménagements antiérosifs permet de réduire les risques de l'érosion et du ruissellement, de garder ou améliorer la structure du sol et sa fertilité et de conduire les cultures dans des conditions extrêmes. On distingue par exemple:

[17] *Zeyaur Khan* entomologiste indien a commencé sa carrière aux Etats-Unis avant de rejoindre l'ICIPE (International Centre of Insect Physiology and Ecology). *http://www.push-pull.net/khan.htm*

Les diguettes (ou les cordons pierreux) sont utilisées pour capter l'eau de pluie et limiter le ruissellement en piégeant les sédiments riches en minéraux et la matière organique transportés par l'eau. Cette technique consiste à monter des alignements ou petits empilements de pierres ou d'autres matériaux suivant les courbes de niveau ou tout autour d'une partie de la pente en forme de muret. Il est conseillé de ne pas construire des diguettes trop longues (supérieures à 100 m), car elles ne résisteraient pas au passage de l'eau ce qui peut entrainer l'apparition des fissures dans la structure en terre. Il est nécessaire de respecter l'espacement calculé entre les diguettes, car leur efficacité et leur résistance à l'eau en dépendent fortement (Anschütz *et al.,* 2004).

Les terrasses se composent des plates-formes horizontales ou établies le long des lignes de niveau selon des intervalles calculés et soutenues par des murs de pierres. Elles sont généralement installées pour faciliter la culture sur des terrains en pente et surtout pour limiter l'érosion, les phénomènes de glissement de terrain, le ruissellement et augmenter la capacité du sol à retenir l'eau. Les terrasses constituent aussi une source de biodiversité. Les murs de pierres sèches forment de nombreuses cavités servant de refuge à la faune et à la flore locale, favorisant donc la protection ou la pollinisation des espèces végétales cultivées. Cette technique était très utilisée autrefois et subsiste encore dans certains pays (Espagne, Portugal, Grèce, Italie, Malte, etc.) où elle est généralement utilisée pour la culture des vignes et les oliveraies malgré son exigence en termes de main-d'œuvre, d'énergie et d'entretien (Guiton, 1998; Hollard *et al.,* 2012).

La culture en demi-lunes est une technique apparue pour la première fois en 1980 en Afrique pour lutter contre la sécheresse. Elle est utilisée surtout pour cultiver sur des terres fortement dégradées. Elle consiste à creuser des trous en forme de demi-lune pour y planter les cultures. Un bourrelet protecteur est construit à l'aide de la terre dégagée lors du creusement. Cette technique permet d'améliorer la fertilité du sol, de diminuer ses pertes et de concentrer l'eau dans les zones de cultures restreintes (demi-lunes) par rapport à la surface de la parcelle en créant ainsi des zones de fertilité concentrée. Il ne faut pas cultiver les espaces entre les trous pour ne pas diminuer l'efficacité de la technique. En effet, une partie de l'eau qui s'écoule sera arrêtée par les cultures et n'atteindra pas les trous (Hollard e*t al.,* 2012; Savadogo *et al.,* 2011).

Dans les zones à saison sèche bien marquée, la saison des pluies s'arrête souvent pendant plusieurs semaines, ce qui peut empêcher le développement des plantes semées si la capacité de rétention en eau est trop faible. Mais ce risque peut être réduit avec la mise en place des pratiques traditionnelles comme le Zaï et la technique des planches à arrosage limité (CARI *et al.*, 2008).

La technique du Zaï fait partie des techniques culturales traditionnelles. Le Zaï signifie "se préparer à l'avance" en langue nationale *mooré* (Burkina Faso). C'est une forme particulière de culture en poquets[18] dans des micro-bassins dont l'application aux zipellés (surfaces pédologiques encroûtées fortement dégradées) constitue une solution simple de restauration de la productivité des terres dégradées et de réhabilitation agroforestière de leur couverture végétale dans la zone soudano-sahélienne. Elle a été utilisée anciennement par les agriculteurs les moins riches qui ne disposent que de terres pauvres et peu de moyens de production. Mais à cause des périodes de sécheresse connues

[18] Semer en « poquet » consiste à placer 3 à 5 graines dans un même trou. C'est une technique facile, qui convient aux grosses semences, tandis que les semences fines seront semées séparément en ligne ou à la volée.

dans l'ensemble du Sahel dans les années 1980, cette technique est réapparue après avoir été plus ou moins abandonnée. Elle consiste à préparer la terre très tôt dans la saison sèche de novembre à juin, en creusant manuellement ou mécaniquement des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre, de 15 à 20 cm de profondeur tous les 70-100 cm, au fonds desquelles on met de la fumure organique. Cette technique permet d'améliorer la fertilité du sol en piégeant la matière organique, de diminuer le ruissellement et l'érosion, et de réduire les effets de la sécheresse en améliorant l'infiltration de l'eau dans le sol. Sa réalisation nécessite des connaissances sur les directions d'écoulement des eaux et la disponibilité de la matière organique. Cependant malgré ses avantages, la technique du *Zaï* est exigeante en termes de temps et de main d'œuvre. Elle demande 300 heures d'un travail très dur à la pioche, soit environ 3 mois pour aménager un hectare. Elle ne peut fonctionner suffisamment que s'il ne pleut pas assez (minimum 400 mm avec une capacité de stockage du sol de 50 mm). Par contre, s'il pleut trop, la culture va souffrir d'engorgement au fond des cuvettes et les nutriments vont être lixiviés (Bouguerra, 2003; Roose *et al.*, 1995; Savadogo *et al.*, 2011).

La technique des planches à arrosage limité permet de diminuer au minimum la contrainte d'arrosage en termes de ressources et d'horaires de travail. Elle est adaptée au climat caractérisé par une saison sèche importante et elle se prépare à la période où la ressource en eau est abondante. Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente faible et séparées par des diguettes. La terre est bêchée sur deux hauteurs, une hauteur est ameublie à un outil à dents, puis arroser abondamment, alors que l'autre est remise en place et gorgée d'eau. Du compost est ajouté sur une profondeur de cinq centimètres avant de mettre en place la culture et la couvrir avec de la paille hachée. La largeur de la planche, environ un mètre vingt, doit permettre de la travailler en gardant les pieds sur les allées latérales. Sa longueur dépend des objectifs de production et de la ressource en eau, en compost, en paille et en main d'œuvre. L'eau ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci. L'introduction de l'eau est faite de plusieurs façons: par des siphons, à l'aide de prises d'eau aménagées et équipées d'une vannette, ou bien par des tuyaux d'alimentation (Brouwer *et al.*, 1990; Hollard *et al.*, 2012).

Le Système de Riziculture Intensive (SRI) est une pratique agroécologique apparue pour la première fois en Afrique en 1983 grâce à Henri De Laulanie, un prêtre jésuite installé à Madagascar. La mise au point de cette technique était de manière accidentelle. En effet, la sécheresse a obligé ce dernier et ses étudiants à replanter des plants de riz de quinze jours dans des petits trous comprenant un seul brin et disposés de façon très espacée. Les jeunes plants se sont très vite développés et ont donné parfois jusqu'à 20 épis malgré la faible quantité d'eau disponible. Pour vérifier la réussite de l'expérience, ils l'ont refait dans les mêmes conditions pédoclimatiques mais avec des plants plus jeunes (9, 10, et 12 jours). Le résultat obtenu est encore spectaculaire. Le nombre d'épis par plant est de 60 à 80 malgré la sécheresse. Ces résultats ont poussé les chercheurs à mieux comprendre le cycle et les conditions pour le développement optimal des plants de riz, et de là est né le SRI. Il se pose comme un système de riziculture alternatif très adapté pour les paysans pauvres en ressources car il se base sur une utilisation rationnelle de l'eau et des semences. Le SRI est considéré comme une excellente pratique en réponse à la réduction du réchauffement et à l'adaptation au changement climatique. Ce système permet de réduire l'émission de méthane. Il a été initialement axé sur l'amélioration des rendements rizicoles en repiquage manuel et a depuis été adapté pour d'autres cultures. Actuellement, la technique du SRI est encouragée par plusieurs organisations telles que le FIDA (Fonds International de Développement Agricole), l'USAID (U.S. Agency for International Development), la FAO et la Banque mondiale (Baldé, 2013; Castillo *et al.*, 2014).

La mise en place des infrastructures agroécologiques qui correspondent à des habitats semi-naturels gérés de manière extensive et qui ne reçoivent pas des produits chimiques. Ces infrastructures sont regroupées en plusieurs grandes catégories: les surfaces boisées (haies, bosquets, pré-vergers, arbres isolés, etc.), les surfaces herbacées (prairies permanentes, bandes enherbées, etc.), les milieux humides (mares, sources, ruisseaux, fossés humides, etc.) et d'autres milieux (murets de pierre, terrasses, etc.) (Pointereau *et al.*, 2007). Les infrastructures agroécologiques sont aussi des espaces productifs: les prairies permanentes sont pâturées (ou fauchées); les haies, les bosquets et les jachères fournissent du nectar et du pollen aux insectes pollinisateurs; les mares abreuvent les animaux, etc.

Il existe une certaine complémentarité entre les différentes infrastructures agroécologiques. Cette complémentarité influe sur les relations entre les organismes vivants et entre ces organismes et leur environnement. Ces infrastructures contribuent à la préservation de la biodiversité et l'environnement. En effet, elles permettent de *i)* limiter l'érosion et le ruissellement en freinant l'écoulement d'eau, en fixant la terre et en jouant le rôle de brise-vent, *ii)* améliorer la fertilité du sol en apportant de la matière organique, *iii)* diminuer le recours aux produits phytosanitaires à travers des méthodes de lutte "naturelle" contre les ravageurs (lutte biologique), *iv)* réduire la pollution des eaux en limitant le transfert des polluants et *v)* améliorer la biodiversité en hébergeant des auxiliaires de cultures et des pollinisateurs. Les zones humides et les plans d'eau sont d'une importance majeure dans l'équilibre des écosystèmes et dans le développement de la biodiversité. Ces zones présentent des escales nécessaires à plusieurs espèces migratrices. Les infrastructures agroécologiques jouent un rôle essentiel sur le plan fonctionnel en protégeant les cultures et les animaux contre les aléas climatiques tels que le vent et les variations de température et d'humidité. Elles ont également un rôle sur le plan énergétique en produisant de la biomasse. Elles fournissent aussi un rôle social en favorisant la qualité ainsi que la diversité des paysages et en participant à l'identité culturelle du territoire et aux activités naturelles (promenades, randonnées…). Vu leur importance, ces infrastructures sont de plus en plus présentes dans les politiques publiques nationales et européennes: certification des exploitations agricoles à HVE, plan d'action agriculture de la stratégie nationale pour la biodiversité, bonnes conditions agricoles et environnementales dans le cadre de la PAC, production intégrée, etc. (Savadogo *et al.,* 2011; Schulz, Vilain, 2008).

La lutte biologique c'est « *l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs* », d'après l'OILB-SROP (Section Régionale Ouest Paléarctique). C'est une technique recommandée en agriculture biologique qui consiste à lutter contre un ravageur (insecte, acarien et nématode) par l'utilisation ou la promotion de ses ennemis naturels, ou contre une maladie en favorisant ses antagonistes. Elle est basée sur l'équilibre entre le dynamisme de développement biotique des organismes vivants et la résistance naturelle opposée à leur développement par leur environnement. La lutte biologique peut être mise en œuvre sous différentes formes complémentaires. La conception d'un aménagement agroécologique au sein de l'exploitation agricole, en mettant en place des haies, des plantes nectarifères, des bandes enherbées, etc., préserve des zones refuge favorables au maintien des populations d'organismes auxiliaires. La présence d'organismes auxiliaires en grande quantité par lâchers peut lutter contre les organismes nuisibles (la distribution de coccinelles pour limiter l'extension des cochenilles qui envahissent les citronniers, les lâchers d'un hyménoptère pour combattre la mouche de l'olive, etc.) (Allwood *et al.*, 2001; Ronzon, 2006). La lutte biologique peut être divisée en trois catégories bien distinctes: classique, par augmentation et par protection. La méthode classique vise l'introduction d'un ennemi naturel dans un milieu où sévit un ravageur afin de le contrôler à long terme (Cloutier, Cloutier, 1992). La lutte biologique par augmentation vise

l'augmentation de l'occurrence des ennemis des ravageurs naturellement présents mais en quantité insuffisante (Cloutier, Cloutier, 1992) ou l'introduction répétée des ennemis qui ne survivraient pas (Congress US, 1995). La lutte par protection vise l'augmentation de l'occurrence des ennemis naturels en modifiant le milieu et les pratiques culturales (Congress US, 1995; Weeden *et al.,* 2002).

Plusieurs techniques alternatives à l'usage des insecticides peuvent être utilisées pour réduire les attaques des ravageurs des cultures. Parmi ces techniques il y a celles qui sont utilisées pour lutter contre les mouches des fruits et des légumes: la prophylaxie, l'utilisation des plantes pièges (ou le traitement par taches) et le piégeage massif. Les mouches se reproduisent rapidement, elles ont un cycle complet de trois semaines. Ce sont les femelles qui provoquent les dégâts en pondant dans les légumes et les fruits. Les larves produites se nourrissent de la pulpe et conduisent ainsi à l'apparition d'une ou plusieurs zones "molles" sur les produits attaqués.

La prophylaxie: la multiplication des mouches peut être empêchée par le ramassage des fruits piqués par des femelles et par leur destruction à l'aide de plusieurs méthodes (le feu, la mise sous bâches, etc.). Or, l'utilisation de l'augmentorium (une structure ressemblant à une tente) reste la méthode la plus recommandée et la plus efficace en permettant la rupture du cycle reproductif des mouches. En mettant les fruits piqués dans l'augmentorium, le grillage retient les mouches et laisse s'échapper les insectes utiles de taille plus petite. Ce dispositif empêche aussi une ré-infestation de l'agroécosystème par une nouvelle génération de mouches. Plusieurs agriculteurs considèrent cette technique simple, efficace et peu coûteuse (Deguine *et al.*, 2013; Klungness *et al.*, 2005).

Les plantes pièges: les mouches de légumes passent très peu de temps sur les légumes, elles se trouvent le plus souvent sur les bordures de plantes avoisinantes où elles se reposent, s'accouplent et se nourrissent. Les femelles se rendent sur les cultures (les légumes) environ une heure par jour pour pondre. Il est donc nécessaire de piéger les mouches dans la végétation autour des parcelles. Un traitement par taches est appliqué sur les bordures de cette végétation avec un attractif alimentaire composé souvent de protéines et d'un bio-pesticide. Attirées par l'odeur des protéines, les mouches viennent, les mangent et en meurent (Deguine *et al.,* 2012).

Le piégeage massif : il s'agit d'un système de piégeage de masse qui consiste à attirer les mâles avec l'odeur d'un composé appelé *cue-lure* et empêcher par conséquent la fécondation des femelles, donc la multiplication des mouches (Allwood *et al.,* 2001; Deguine *et al.,* 2013).

Ces différentes techniques et/ou actions agroécologiques peuvent être adoptées dans le monde entier. Or, au-delà de l'aspect strictement technique, ce sont également les nouvelles façons de produire ainsi que les rôles de la recherche scientifique et de l'expérimentation qui doivent être pris en compte lors d'une transition agroécologique. Loin de constituer un retour en arrière, il s'agit tout au contraire, pour parvenir à une durabilité et à un usage efficace des ressources naturelles, d'explorer les innovations de toutes natures qui peuvent être mobilisées.

2.2. L'agroécologie entre l'adoption et l'innovation

Pour faire face à une demande alimentaire croissante avec l'impératif de préserver les ressources, les agriculteurs devront changer leurs pratiques agricoles. Si on dit changement, on dit évolution car au

cœur d'enjeux environnementaux, sanitaires et économiques, l'agriculture est appelée à évoluer. Cette évolution se traduit par une innovation concernant tout le circuit agricole: une innovation dans la technique (nouveaux matériels, nouvelles variétés culturales, nouvelles méthodes agronomiques, etc.), une innovation dans l'organisation territoriale et une innovation culturelle pour les agriculteurs et toute la société. Selon Petit *et al.* (2012), l'innovation est issue de la recherche, de l'expérimentation et des nouvelles technologies, mais elle peut également provenir d'agriculteurs. En effet, pour réussir les objectifs de la transition agroécologique dans un contexte donné, il convient d'associer des savoir-faire locaux, des connaissances traditionnelles paysannes et des connaissances scientifiques innovantes issues de la recherche dans plusieurs disciplines (agronomie, écologie, etc.).

Dans de nombreuses régions du monde, les agriculteurs traditionnels ont développé des systèmes agricoles complexes adaptés aux conditions locales pour répondre à leurs besoins de subsistance, sans dépendre de la mécanisation, d'engrais chimiques, de pesticides ou d'autres technologies de la science agricole moderne (Altieri *et al.*, 2012). Les pratiques traditionnelles et les savoir-faire agricoles des populations locales font partie du patrimoine culturel accumulé au cours des années. Toutes les sociétés humaines sont traditionnelles (Pinton, Grenand, 2007). On ne peut pas parler du savoir-faire local sans parler de la tradition qui trace la transmission au fil du temps (Bonté, 1992). Ces deux notions sont étroitement liées. La tradition agricole consiste à transmettre les mêmes techniques et les savoir-faire agricoles à travers les générations. Les connaissances endogènes ou encore les savoir-faire locaux peuvent concerner tous les aspects de la vie, y compris la gestion de l'environnement naturel et l'agriculture, et sont essentiels à la survie des peuples. Pour une population donnée, les membres, sans distinction, possèdent des connaissances traditionnelles dont la quantité et la qualité peuvent, cependant, varier selon plusieurs facteurs tels que l'éducation, le sexe, l'âge, etc.

Le savoir-faire agricole traditionnel est un savoir de base adopté d'une génération à l'autre, il mérite d'être amélioré par l'innovation, la formation et l'encadrement. La "paysannerie" doit changer, il faut passer d'un paysan traditionnel hérité à un paysan formé et encadré. Nos anciens ne savaient que le minimum et ne parvenaient pas à expliquer leurs observations. Ils ont reproduits des gestes transmis de générations en générations, sans se rendre compte de leurs erreurs et des dégradations qu'ils pouvaient parfois engendrer. Certains agriculteurs ont l'habitude d'utiliser de recettes « passe-partout » sans tenir compte des spécificités de leurs terres, du climat local, ni des conséquences socio-économiques (Bouguera *et al.*, 2003). Une même technique agricole peut ne pas avoir la même efficacité dans deux exploitations différentes, de point de vue main d'œuvre, matériels, superficie, etc., et situées dans des conditions climatiques non identiques. Il est donc nécessaire de conserver et valoriser les savoir-faire locaux en réintroduisant de nouvelles pratiques et connaissances scientifiques innovantes. Il est aussi souhaitable de rompre le schéma habituel dans lequel la recherche « *produit les innovations, des instituts techniques procèdent aux adaptations et les producteurs appliquent* » (Ribier, Griffon, 2006). Les agriculteurs peuvent s'appuyer sur des données et expériences scientifiques pour éclairer leurs décisions concernant la conservation de l'environnement, la protection de la santé humaine et la gestion des risques.

L'objectif est de produire autrement. Dans ce contexte, l'approche agroécologique vise à "moderniser" l'agriculture en renforçant la performance des pratiques agricoles et en donnant des traits d'innovation aux producteurs. Elle constitue donc un mélange de techniques agricoles anciennes transmises et de nouvelles techniques agricoles innovantes. L'innovation consiste à appliquer une réflexion innovante à l'ensemble du modèle économique d'une entreprise afin de générer une valeur nouvelle, à la fois pour

le client et pour l'entreprise, en modifiant la stratégie business (Johnston, Bate, 2013; Tucker, 2001).Elle est devenue un sujet de société majeur. En lançant de nouveaux produits et services sur le marché ou en changeant leurs procédés de production, les entreprises sont en interaction directe avec les citoyens et les pouvoirs publics. Il s'agit d'un mouvement permanent qui mobilise l'ensemble des acteurs concernés (Alter, 2010). Selon Ngo Nonga (2008), l'innovation est un *« processus dynamique et créatif par lequel un groupe social s'approprie une nouveauté et la co-construit dans le temps en tenant compte de différentes dimensions (techniques, culturelles, économiques et organisationnelles) et des savoir-faire locaux) »*. En se basant sur de nouveaux produits et nouvelles pratiques, l'innovation peut présenter ainsi l'application de découvertes technologiques, institutionnelles et humaines à des procédés de production (Figure 9) (Poole, Penrose Buckley, 2006).

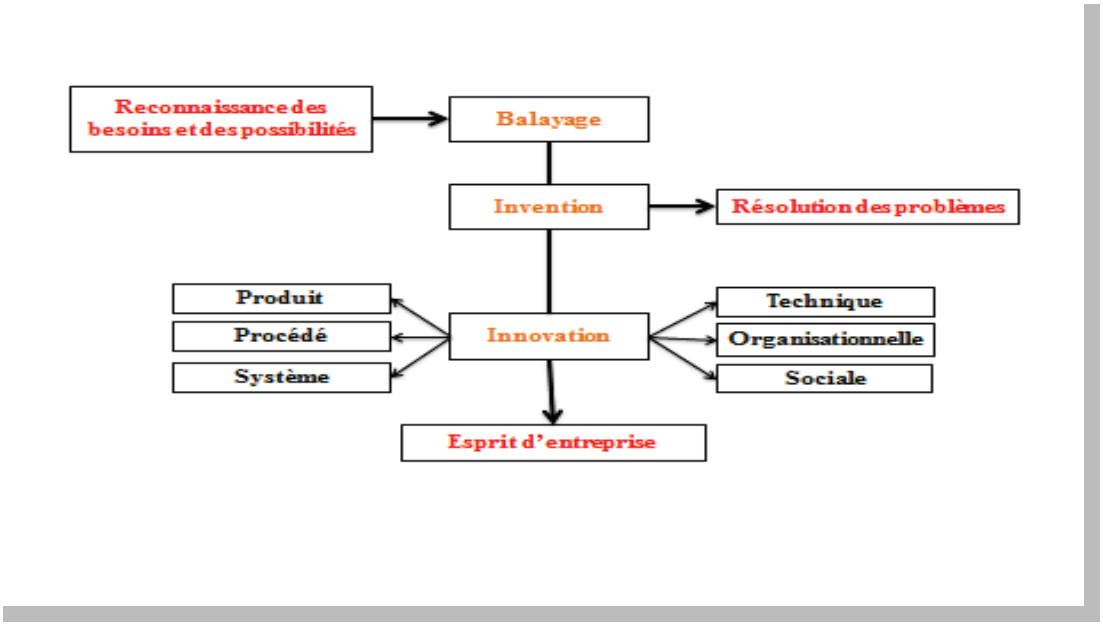


Figure 9. Innovation selon Poole (2006) (Ngo Nonga, 2008)

L'innovation peut avoir plusieurs formes. Une innovation *stratégique* qui implique un changement radical et ne relève pas d'une logique incrémentale (Moingeon, Lehmann-Ortega, 2010). Elle conduit à une nouvelle manière de jouer le jeu. Une innovation *de rupture* qui n'implique pas un changement radical mais qui consiste à redéfinir les règles du jeu et à déstabiliser les conditions du marché en sa faveur. Il s'agit d'un changement de concept par rapport aux démarches traditionnelles (Lehmann-ortega, Roy, 2009). L'innovation peut être identifiée en fonction de sa nature: *i)* l'innovation *technologique* consiste à créer une nouvelle technologie ou à améliorer une ancienne, *ii)* l'innovation *d'usage* consiste à introduire des changements dans la manière d'utiliser le produit ou de consommer le service et *iii)* l'innovation *sociale* consiste à élaborer de nouvelles réponses à des besoins sociaux en impliquant la participation et la coopération des acteurs concernés, notamment des utilisateurs et usagers[19].

[19] ***Lexique de catégorisation de l'innovation élargie***- Version du 06 janvier 2014 : file:///C:/Users/Meriam/Downloads/4-Annexe-a-l-AAP-mesure-4.1.2-investissements-CUMA.pdf

L'innovation apparait comme le moyen privilégié pour assurer le développement (Fernez-Walch, Romon, 2013); elle a été développée afin de résoudre les problèmes auxquels la société est actuellement confrontée. Dans ce contexte, la transition agroécologique est considérée comme une innovation. L'introduction de nouvelles techniques agroécologiques dans un système de production agricole peut consister en une innovation stratégique où le changement concerne l'intégralité de ce système (techniques agricoles, calendriers agricoles, matériel, organisation, etc.). En revanche, dans certains cas, cette introduction peut consister en une innovation de rupture où le changement ne se fait qu'au niveau des techniques agricoles en passant des techniques traditionnelles conventionnelles à des techniques innovantes afin de favoriser des systèmes de culture moins vulnérables et plus performants. La transition agroécologique peut également désigner une innovation technologique en mettant en place de nouvelles technologies agricoles (matériel pour un désherbage mécanique plus adapté, recherche scientifique sur des plantes et cultures, etc.), ainsi qu'une innovation d'usage en supprimant l'utilisation de pesticides et en recourant à l'utilisation d'autres alternatives permettant de lutter contre les ennemis des cultures. Elle présente aussi une innovation sociale en mettant l'accent sur des problématiques sociales (pollution de l'environnement, dégradation de la santé humaine, etc.) et en essayant d'apporter des solutions. Le processus d'innovation n'est pas un processus linéaire, où des étapes de recherche, de conception, de développement et de mise en marché se succèdent. Ce processus est collectif, interactif et plusieurs sources peuvent être à son origine (des organismes de recherche et de développement, les agriculteurs…) (Reau, Doré, 2008). D'où, l'existence de deux types d'innovation: une innovation *endogène* ou *paysanne* prenant son origine des paysans et une innovation *exogène* issue de la recherche, de la vulgarisation, des sociétés privées, etc. (Zoundi *et al.,* 2005).

Le débat sur les sources multiples de l'innovation a mis en évidence la question relative à l'implication des agriculteurs dans son processus (Ngo Nonga, 2008). La reconnaissance des agriculteurs comme parties prenantes, non seulement en tant que bénéficiaires mais également en tant que sources de savoirs traditionnels, a débouché sur des approches visant à privilégier l'agriculteur. La participation effective des agriculteurs permet de réaliser des études sur les systèmes de culture, de reconnaître leur complexité, leur spécificité et de faire participer ces agriculteurs aux processus décisionnels en matière de durabilité. Des études sur l'ensemble de l'Afrique montrent le succès des petits agriculteurs à innover et à améliorer leurs sources de revenu, même dans des conditions économiques et agro-environnementales défavorables, en s'associant à la recherche (Reij, Waters-Bayer, 2001). Dans un contexte agroécologique, il est donc important de rassembler les efforts de tous les acteurs et de développer un réseau de compétences permettant d'échanger les savoirs et les savoir-faire. Pour cela, il faut identifier les connaissances et les savoirs qui sont nécessaires pour comprendre et valoriser le fonctionnement des processus écologiques. Il est aussi nécessaire de savoir comment ces processus peuvent changer suite à l'intégration de nouvelles pratiques et comment peut-on les optimiser. L'identification des innovations sociales ou techniques est essentielle afin d'accompagner la transformation des pratiques agricoles. Le regroupement et la structuration des expériences en matière d'agroécologie, ainsi que la conception de nouvelles alternatives agronomiques souples et adaptables fondées sur le diagnostic global de l'exploitation agricole sont aussi importants.

L'agroécologie peut permettre de réconcilier les relations entre les agriculteurs et leur environnement écologique, social et économique. Pour cela, plusieurs régions de la planète adhèrent en ce moment à ce mode de production. En plus d'améliorer les conditions de vie de leurs populations rurales, les pays

qui mettent de l'avant l'agroécologie visent à augmenter leurs productions agricoles tout en réduisant les impacts négatifs sur l'environnement.

2.3. Développement de l'agroécologie

Le concept de l'agroécologie varie en fonction des zones géographiques. Dans les pays où les consommations d'intrants chimiques et la mécanisation ne sont pas très développés, car ils sont souvent trop coûteux ou non disponibles, le recours à l'application des techniques traditionnelles agroécologiques est très répandu à petite échelle. Dans les pays développés comme les Etats-Unis, la France et l'Allemagne qui se caractérisent par la dominance de l'agriculture conventionnelle, les pratiques agroécologiques sont en train de se développer depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui, le Brésil connaît une expansion importante des techniques agroécologiques à l'échelle locale, une juxtaposition de grandes exploitations industrielles et un développement de politiques incitatives (Dupin, 2011). Des études de cas montrent comment le développement de l'agroécologie, fondé sur la diversité, la synergie, l'intégration et la participation de la communauté, s'avère peut-être l'une des seules options viables pour répondre aux besoins alimentaires actuels et futurs (Altieri *et al.,* 2012).

A l'ouest du Burkina Faso (province du Tuy), le projet Fertipartenaires (FOOD/2007/144-075) a été mené dans le but d'aider les producteurs à augmenter durablement les performances techniques, économiques et environnementales de leurs exploitations et d'améliorer la fertilité des sols ainsi que la sécurité alimentaire dans sept villages de la province du Tuy. Ce projet vise à intégrer l'élevage dans les systèmes de production, à utiliser du compostage et à recycler la biomasse fourragère. Suite à ses différentes actions, la couverture des besoins des exploitations en fumure organique est passée de 7 à 28 % (Vall *et al.,* 2012).

Afin d'améliorer la fertilité des sols et d'accroitre le revenu des producteurs de la région ouest-africaine, des chercheurs se sont réunis pour contribuer dans un projet scientifique portant sur les implications de l'intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux des zones de savane cotonnière du Burkina Faso et du Mali. Pour ces chercheurs, le recours à la production de services environnementaux et à l'intensification des modes de production (usage des engrais organiques et intégration de l'élevage dans les systèmes de production) peut contribuer à l'accroissement de la biomasse fourragère et à l'augmentation de l'efficience, de l'autonomie et de la production globale des systèmes de production (Dugué *et al.,* 2012; Dugué *et al.,* 2011).

Le GTD (Groupe de Travail Désertification) et ses associés ont mis en œuvre un projet pour lutter contre les causes de l'insécurité alimentaire au Niger. L'idée était d'accompagner 1399 ménages vulnérables, entre 2007 et 2010, pour renforcer durablement leur production tant en quantité, qu'en diversité, qualité et régularité en diversifiant les activités agricoles: cultures maraîchères, cultures fruitières et petit élevage. Il s'agit principalement d'associer les arbres et cultures maraîchères, d'implanter des haies vives, de mettre en place des pratiques économes en eau (paillage des cultures, couverture permanente des sols...) et de caler les systèmes de culture (choix des espèces et variétés cultivées en fonction des besoins d'autoconsommation et d'approvisionnement des marchés locaux). La mise en œuvre de ces pratiques a entrainé plusieurs changements. Sur le plan écologique 29 sites de production ont été sécurisés et aménagés par des aménagements hydro-agricoles qui présentent environ 36,6 hectares de cultures maraîchères et fruitières, ainsi que la replantation de 49 094 arbres forestiers et 5 544 arbres fruitiers dans les zones dégradées. Sur le plan économique et social, 31

groupements professionnels ont été créés et renforcés, 32 microprojets pour la diversification des activités agricoles ont été mis en place, 1 399 ménages vulnérables aidés ayant amélioré durablement leurs revenus et 330 euros de revenus additionnels ont été générés par famille et par campagne maraîchère de contre-saison (Berton *et al.,* 2013).

La mise en place des pratiques agroécologiques a été observée même à petite échelle où des agriculteurs ont choisi de changer leurs systèmes de production. John et Perez Otiep deux paysans de Kenya ont adopté la technique de « push-pull » en 2008. Trois ans plus tard, ils ont complètement éliminé l'herbe de sorcière ainsi que la pyrale de maïs et supprimé l'utilisation des engrais chimiques. Sur un demi-hectare, ils récoltaient deux sacs de 80 kg de maïs, mais après l'adoption de la technique de contrôle biologique, ils sont passés de deux sacs à vingt-deux sacs. Cette technique a permis d'améliorer l'autofinancement de 50 000 paysans au Kenya. Avant ils achetaient le maïs, mais maintenant ils le vendent ce qui a entrainé la création d'un marché local (Robin, 2014).

Au Malawi, où presque la moitié de la population vit avec un revenu inférieur de 1 euro par jour, Mark et Hilda Majoni ont réussi à dépasser la souffrance de la pauvreté dans ce pays contrairement aux autres. Après sa retraite, Mark a commencé sa vie d'agronome mais il a dépensé tout l'argent qu'il avait économisé en engrais chimiques sans avoir les rendements envisagés. Mais suite aux formations menées par le CIRAF (Centre International pour la Recherche en Agroforesterie) pour encourager les paysans à cultiver du maïs en utilisant les arbres comme engrais, il a décidé de changer son mode de production. Le couple Majoni pratique l'agroforesterie depuis 20 ans sur 1 ha de cultures vivrières et maïs. Ils utilisent les feuilles de « gliricidia » pour fertiliser leurs cultures. Cet arbre est originaire d'Amérique du Sud mais il s'adapte parfaitement en Afrique. Il peut avoir plus de cinq mètres de hauteur et doit être planté autour des cultures en alternance avec les plantes de maïs. Dès qu'il atteint 50 cm, ses feuilles sont coupées pour être enfouies au pied du maïs afin d'augmenter la fertilité du sol et de lutter contre sa sécheresse. D'après Majoni Mark « *Les feuilles de gliricidia sont bien plus efficaces que les engrais chimiques qui coûtent chers et qui finissent par épuiser le sol* ». Le couple récoltait avant au maximum cent sacs de maïs, mais le rendement est doublé après l'utilisation de cet engrais vert (Robin, 2014).

Les oasis marocaines ont perdu près de 75% de leur patrimoine phoénicicole à cause de plusieurs crises (de l'eau, sociale et agricole) au cours du dernier siècle. Pour cela, le royaume du Maroc a lancé un programme de valorisation des oasis, avec l'appui du PNUD (Programme des Nations-Unies pour le Développement) entre 2006 et 2013, dont l'objectif est de lutter contre la désertification et la pauvreté en proposant de nouvelles techniques plus efficaces. Sur le plan écologique, ce programme a permis de diminuer les adventices, d'améliorer la fertilité du sol et d'économiser l'eau jusqu'à 50% grâce à l'utilisation des systèmes d'irrigation localisée. Il a également entrainé la mise en place de sept nouvelles filières de valorisation (transformation des produits, commercialisation, etc.), l'apparition des sources de revenus supplémentaires et l'augmentation des prix de vente des productions (Berton *et al.,* 2013).

L'agriculture de conservation a été développée dans plusieurs territoires (Ukraine, Amérique latine, Asie de Sud-est, Afrique de l'Ouest…). Dans ces territoires, plusieurs études ont été faites afin d'analyser les résultats de la mise en place de ce type d'agriculture et d'orienter les agriculteurs. C'est l'exemple d'un projet mené en 2007 dans deux villages du Burkina Faso (Yilou et Koumbi) pour

construire un modèle des flux de biomasses qui permet d'analyser l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité des sols à l'échelle du territoire villageois (Diarisso *et al.*, 2011). Dans le même contexte, le CIRAD a mis en place pour la première fois au Brésil des systèmes de cultures basés sur les techniques de l'agriculture de conservation. Suite à la mise en place en 2009 d'un réseau régional CANSEA (Climate Action Network-South East Asia) sur l'agriculture de conservation en Asie du sud-est, les mêmes systèmes sont maintenant pratiqués en Afrique centrale (Cameroun), en Afrique du nord (Tunisie), dans l'Océan indien (Madagascar), en Asie et aux Antilles (Guadeloupe). Le CIRAD a analysé les fonctions écosystémiques de l'agriculture de conservation en rapport avec l'activité microbiologique, la dynamique de la matière organique du sol et la gestion des bioagresseurs. Les résultats de l'analyse montrent une augmentation générale du stock de carbone dans les sols au Brésil, à Madagascar et au Laos depuis dix ans, et une séquestration de 20 tonnes de carbone par hectare en France et notamment en Touraine (Chabanne, Forest, 2010).

En France, le mouvement agroécologique se développe progressivement depuis 1990. Les travaux scientifiques portés sur l'agroécologie n'étaient pas nombreux à cette époque, mais la recherche scientifique n'a pas cessé de mener des initiatives. En 2008, la France a accueilli à Albi le premier colloque international d'agroécologie. Depuis, ce nouveau mode de production est fixé comme objectif central de la nouvelle politique agricole. Un projet agroécologique a été lancé en décembre 2012 par le ministère de l'agriculture français dont l'objectif est de faire de l'agroécologie un atout pour toute la France. Il incite à développer une triple performance économique, environnementale et sociale afin que d'ici 2025 la majorité des exploitations agricoles françaises soit engagée dans un processus de transition agroécologique (Potier, 2014).

Pour développer l'agroécologie, les changements à effectuer peuvent être importants et compliqués: acquisition de nouvelles compétences, de nouveaux matériels, difficultés lors de la mise en place de nouvelles pratiques ou de nouveaux systèmes, etc. Pour cela, le développement de la transition agroécologique nécessite les soutiens de l'État, des opérateurs économiques, des instituts de recherche, des collectivités locales, des organisations internationales, etc.

2.4. Outils politiques et organisations internationales en faveur de l'agroécologie

En tant que mouvement social, l'agroécologie est aujourd'hui appuyée par un éventail de plus en plus large d'experts de la communauté scientifique ainsi que par des organisations internationales comme la FAO et le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement). Le mouvement rassemble également des organisations paysannes et des ONG qui cherchent à développer les pratiques agroécologiques, à mettre en place des politiques et des réglementations qui soutiennent ces pratiques et à surmonter les obstacles de l'agriculture familiale et paysanne (Castillo *et al.*, 2014). Le mouvement agroécologique ne concerne pas que les altermondialistes convaincus, mais des associations sont aussi considérées comme ses défenseurs dans la société civile et à l'échelle mondiale: l'association scientifique brésilienne d'agroécologie, l'association scientifique latino-américaine sur l'agroécologie, Terre et Humanisme, AGRISUD International, l'association pour la recherche et la formation en agroécologie au Burkina Faso, la fédération agroécologique du Bénin, l'union pour un avenir écologique et social au Mali, la sécurité alimentaire et développement économique local au Niger, etc. (Korogo, 2011).

Différents outils politiques ont été développés par plusieurs pays et organisations internationales afin de déployer l'agroécologie à plus grande échelle. Dans le cadre des marchés publics, les États peuvent prendre des mesures favorables pour les petits agriculteurs afin d'encourager d'autres agriculteurs à passer au mode de production agroécologique. Le Brésil est parmi les rares pays qui possèdent deux ministères qui s'intéressent à l'agriculture et au développement rural dont le MDA (Ministère du Développement Agraire) qui s'occupe des intérêts des mouvements sociaux ruraux, des petits paysans et de l'agriculture familiale. Le MDA a élaboré de nombreuses politiques publiques en faveur de la transition agroécologique: le PAA (Programme d'Acquisition d'Aliments, 2003) offre la possibilité aux agriculteurs de recevoir une garantie d'achat pour une quantité donnée de produits à des prix fixés; le PNATER (Programme National d'Assistance Technique et d'Extension Rurale, 2010) pour l'agriculture familiale et la réforme agraire permet un développement rural durable par l'adoption des principes agroécologiques et des méthodologies participatives; la Politique de Renforcement de l'Agriculture Familiale accorde des crédits à faibles taux pour encourager une agriculture alternative; le PNAE (Programme National d'Actions Environnementales, 2009) permet de créer et de faciliter l'accès au marché des produits agroécologiques, etc. Ce ministère finance aussi des recherches universitaires et des événements de soutien liés à l'agroécologie (Castillo *et al.,* 2014).

Aujourd'hui, l'agriculture française doit répondre à de nouveaux défis afin de conserver son avance au niveau mondial et de continuer à assurer une production alimentaire de haut niveau qualitatif et en quantité suffisante. L'agriculture française, les filières agroalimentaires et forestières sont des leviers pour relever le défi de la compétitivité économique, sociale et environnementale. Pour cela, des réglementations ont été mises en place pour changer les modèles agricoles. Actuellement, trois lois sont en projet en France. La loi relative à la biodiversité « pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages », qui a été promulguée le 8 août 2016, consiste à protéger, restaurer et valoriser la biodiversité et à réduire les effets néfastes de certaines activités humaines sur l'environnement. La loi du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et à un urbanisme rénové qui vise à lutter contre l'artificialisation des sols, premier motif de disparition de la biodiversité. La loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014 au sein de laquelle l'agroécologie tiendra une place importante. Cette dernière loi a fixé plusieurs objectifs permettant la mise en œuvre concrète de l'agroécologie dans les exploitations agricoles. Elle prévoit la création des GIEE (Groupements d'Intérêt Economique et Environnemental). Ces derniers permettent de disposer d'un outil structurant pour porter des projets collectifs dont l'objectif est d'atteindre les performances de l'agroécologie. Ce sont des collectifs d'agriculteurs reconnus par l'État qui souhaitent s'engager dans des projets de modification ou de consolidation de leurs pratiques en visant à la fois des performances économiques, environnementales et sociales. Depuis la promulgation de la loi, près de 250 GIEE ont déjà été créés (Lambert, 2013; Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2017).

Le ministre de l'agriculture a engagé le 18 décembre 2012 le projet agroécologique pour la France "agricultures, produisons autrement" dont l'objectif est de développer une agriculture performante sur les plans économique, environnemental et social. Issu d'une volonté politique forte du ministre de l'Agriculture Stéphane Le Foll, ce projet vise à inciter la transition agroécologique vers des systèmes de production plus performants en s'appuyant essentiellement sur des démarches collectives impliquant l'ensemble des acteurs des filières, des territoires et du développement agricole. La mise en place de ce projet a entraîné une évolution des politiques agricoles afin de faciliter la transition vers l'agroécologie. Le plan d'action de ce projet couvre plusieurs sujets (formation, accompagnement des agriculteurs, soutiens financiers, etc.). La formation agricole et l'enseignement sont très importants

dans la valorisation et la transmission des savoirs. L'approche agroécologique doit être intégrée dans le référentiel des établissements agricoles. Avec le plan d'action national « Enseigner à produire autrement », qui a démarré en septembre 2014, l'enseignement agricole se donne les moyens pour préparer les agriculteurs à produire plus durablement et plus efficacement. Le projet agroécologique permet de rénover les soutiens publics à l'agriculture et de les rendre plus incitatifs à l'engagement vers l'agroécologie. La création des GIEE fait partie des actions menées par le projet agroécologique. En effet, plusieurs collectifs d'agriculteurs se sont déjà lancés dans la transition agroécologique en répondant dès début janvier 2014 à l'appel à projet "mobilisation collective pour l'agroécologie" (Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2012).

La formation des agriculteurs et la construction des écoles paysannes de terrain peuvent participer au déploiement de l'agroécologie. En effet, ces écoles permettent aux agriculteurs d'apprendre les techniques et les méthodes alternatives afin d'améliorer la situation socio-économique de leurs exploitations. Une étude de la FAO a montré que la rentabilité du coton des agriculteurs formés aux écoles paysannes de terrain au Mali est triplée par rapport aux exploitations conventionnelles grâce à une diminution considérable de l'utilisation d'insecticides dangereux. Cette réduction a été observée sur une période de huit ans dans plus de 4 324 ménages pratiquant la culture du coton, dont 20% ont participé à une formation (Settle *et al.*, 2014). Les acteurs du secteur privé peuvent aussi jouer un rôle très important dans le développement des pratiques agroécologiques. Ils peuvent pénétrer dans des domaines autres que la simple vente de semences et d'engrais en créant des partenariats avec des agriculteurs pratiquant l'agroécologie. Afin de développer les systèmes agroécologiques en Amérique centrale par exemple, le réseau CAN (Community Agroecology Network) a lancé l'AgroEco Coffee, un café en grains issu d'une seule petite coopérative au Costa Rica qui a adopté onze pratiques agroécologiques (Castillo *et al.,* 2014).

Avec le soutien des bailleurs de fonds et des organisations internationales, les États, qui ont reconnu le cadre stratégique mondial pour la sécurité alimentaire et la nutrition, doivent désormais concrétiser leur engagement et développer systématiquement les approches agroécologiques à grande échelle afin d'atteindre les objectifs fixés. Ils doivent donner la possibilité aux exploitants de participer à la définition et à la construction des politiques et des investissements agricoles. Par conséquent, il est nécessaire de mettre en place des plateformes multipartites au niveau local, régional et national. Cette collaboration permet aux pouvoirs publics d'acquérir une importante légitimité en profitant des savoir-faire des agriculteurs et d'assurer leur autonomisation. En outre, il faut développer et accroitre les aides publiques adéquates pour encourager la transition agroécologique. Ceci peut se faire en créant ou renforçant les services de vulgarisation et de formation aux technologies agroécologiques, et en soutenant la vente des produits agroécologiques par la promotion d'une certification par exemple. Les États peuvent aussi mettre en place des systèmes d'aides plus directes (comme des paiements pour les services écosystémiques) et des mesures pour améliorer l'accès au financement, ainsi qu'encourager le secteur privé à créer des partenariats avec les agriculteurs pour doubler les efforts. La mise en place des politiques appropriées pour soutenir l'agroécologie est très importante. Il faut réviser les politiques en matière de commerce, d'investissement et de propriété intellectuelle, et les mettre à jour afin de protéger les droits des agriculteurs. Il faut garantir aussi l'accès aux terres et aux autres ressources naturelles, ainsi qu'aux filières de production et de distribution pour les petits producteurs en réformant le fonctionnement du marché. Les États doivent affirmer que les investissements dans l'agriculture agroécologique n'épuisent pas les ressources naturelles mais au contraire qu'ils contribuent à leur régénération (Caporal, 2012; Castillo *et al.*, 2014; De Schutter, 2010).

Conclusion du chapitre II

Pour réussir la mise en place des techniques agroécologiques et atteindre les objectifs fixés, il est fortement conseillé d'associer des savoir-faire locaux, des connaissances paysannes traditionnelles et des connaissances scientifiques innovantes issues de la recherche dans plusieurs domaines (agronomie, écologie, etc.). Dans ce contexte, la transition vers des systèmes de production agricole basés sur des techniques et/ou des actions agroécologiques peut être considérée comme une innovation à plusieurs niveaux : stratégique, de rupture, technologique, d'usage et sociale. Grâce à leur multifonctionnalité, l'adoption des techniques agroécologiques ne cesse de se développer à différentes échelles dans le monde entier en s'appuyant sur plusieurs organismes (FAO, ONG, associations, etc.), stratégies et outils politiques. Or, le succès de l'approche agroécologique et de son développement dépend du soutien des pouvoirs publics, de la coopération de la collectivité et de l'étude approfondie des problématiques liées à l'activité agricole permettant de faciliter la prise de décisions.

CHAPITRE III : ROLES DE LA GEOGRAPHIE ET DE LA MODELISATION DANS L'ETUDE DES PROBLEMATIQUES LIEES A L'ACTIVITE AGRICOLE ET DANS L'AIDE A LA DECISION

Afin d'étudier les problématiques environnementales liées à l'activité agricole et de bien gérer une transition agroécologique, il est nécessaire de prendre en considération les rôles que jouent la géographie et la modélisation dans cette présente étude. Suite aux actions de développement durable, les agronomes sont appelés à concevoir de nouveaux concepts, méthodes et outils, pour comprendre les dimensions sociales, écologiques et techniques des systèmes agricoles. Cet appel oblige les agronomes à établir un nouveau dialogue interdisciplinaire. Le pont vers la géographie est devenu indispensable, car la parcelle, l'exploitation ou le territoire ne sont que des éléments parmi d'autres dans un espace géographique. Les études agronomiques doivent donc tenir compte des interactions entre les processus environnementaux et les dynamiques territoriales (Lardon *et al.*, 2012b). Ce croisement de disciplines est à l'origine de nombreuses approches multidisciplinaires et plusieurs travaux de recherche portant sur les impacts environnementaux liés aux pratiques agricoles et le développement d'alternatives moins nocives pour l'environnement et la santé humaine.

3.1. Le Paysage : un outil de conception de l'espace agricole

Le paysage est souvent réduit à sa dimension esthétique. Les fonctions d'aménagement, d'organisation et de rationalisation de l'espace ont été oubliées avec l'industrialisation de l'agriculture. Aujourd'hui, il est nécessaire de remettre le paysage au centre des projets agricoles à travers des démarches de spatialisation mobilisées par différentes approches car chaque exploitation agricole est considérée comme un projet d'espace, donc un projet de paysage. Selon Guyet (2010), un paysage agricole est défini comme « *l'organisation spatiale d'éléments paysagers naturels ou artificiels avec lequel interagissent des acteurs aussi divers que des agriculteurs, des insectes, la faune, la végétation naturelle et cultivée...* ». Il est caractérisé par « *des éléments, plus ou moins fragmentés et connectés, qui constituent une mosaïque hétérogène* » (Burel, Baudry, 1999).

Pour réussir un mode de production agroécologique, une acquisition des connaissances des potentiels agronomiques et de l'organisation de l'espace est obligatoire afin de produire correctement et de rester rentable. Le passage à ce mode de production nécessite une réorganisation des territoires agricoles pour permettre à la nature de devenir une alliée et non une contrainte. L'originalité de l'agroécologie réside dans la création de paysages différents basés sur des liens entre biodiversité et fonctionnements écologiques des agrosystèmes. Le principe d'une transition agroécologique est d'avoir un système de production à la fois autonome et résilient, et de supprimer les espaces mal ou peu utilisés au sein de l'exploitation agricole. L'organisation spatiale de terres agricoles dans un système de production agroécologique est donc différente de celle en agriculture conventionnelle suite à la mise en place de nouvelles infrastructures agroécologiques. Il s'agit de coordonner des pratiques et des productions dans l'espace et dans le temps pour accroitre l'efficacité et la durabilité du système de production.

Le paysage est en évolution continue, il résulte d'un ensemble d'interactions entre plusieurs facteurs naturels et humains. Bien que minoritaires, les agriculteurs restent les principaux acteurs des paysages.

Quand l'agriculture et son environnement socio-économique se transforment, les paysages changent. L'agriculture intensive détruit les habitats naturels et semi-naturels (bandes enherbées, prairies, haies, bosquets, etc.) et réduit la biodiversité végétale et animale alors que l'agroécologie les favorise. Influencés par des générations d'agriculteurs, les paysages agricoles évoluent selon les usages locaux, les contraintes, les pratiques, les outils disponibles et les objectifs de la société. La transformation des paysages peut commencer au niveau de la parcelle culturale pour atteindre l'exploitation agricole et le territoire. En effet, les actions techniques menées par l'agriculteur sur la parcelle ont des conséquences sur les paysages de l'exploitation agricole et son territoire. Chaque système de cultures est caractérisé par une suite logique et ordonnée des successions de cultures, et chaque culture se définit par un itinéraire technique (Benoît, Papy, 1998). Un changement au niveau des pratiques agricoles (assolement, rotation, présence des prairies, implantation des haies, etc.) influence forcément la succession des cultures, l'organisation spatiale des systèmes de cultures, et par conséquent les éléments de structure paysagère au niveau du territoire. En revanche, la modification du paysage peut influencer à son tour l'environnement socio-économique de l'exploitation agricole (moyens et outils disponibles, revenus, etc.), et par conséquent les projets de l'agriculteur ainsi que le choix de ses pratiques agricoles (Figure 10).

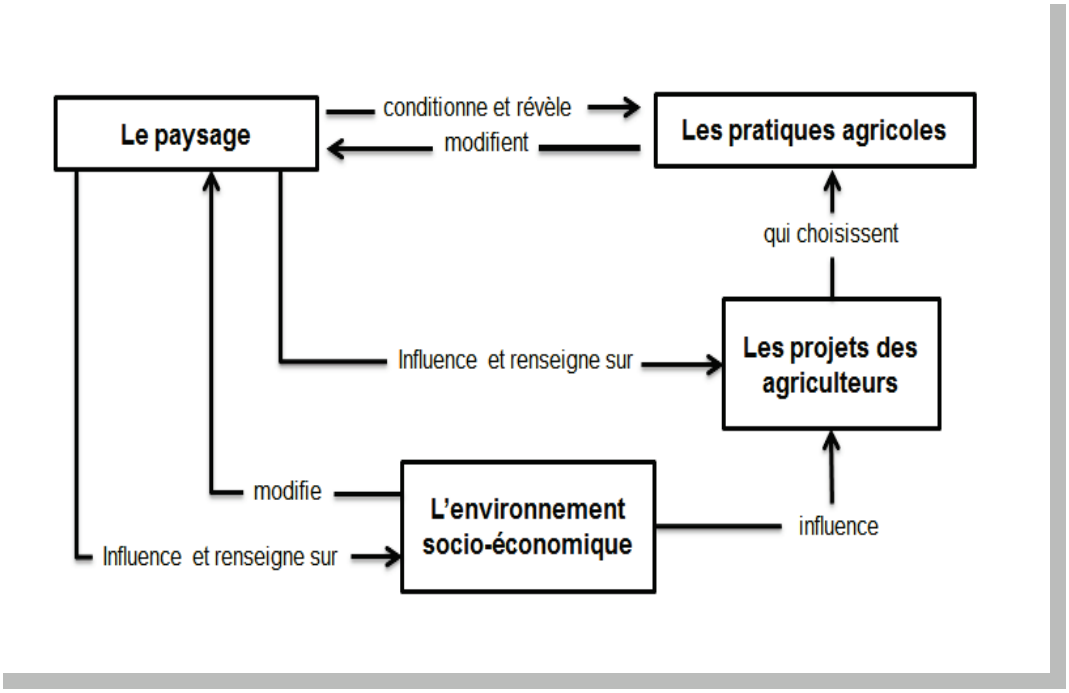


Figure 10. Interaction entre paysage et pratiques agricoles (Brossier *et al.*, 2008)

De nombreuses pistes ont été proposées par plusieurs chercheurs afin de rapprocher les disciplines géographie et agronomie autour de la notion d'organisation spatiale des activités agricoles. Ces chercheurs suggèrent l'introduction de l'espace et sa considération comme un objet d'étude de l'exploitation et des pratiques agricoles (Bonin, Houdart, 2012).

3.2. La géoagronomie: modélisation spatiale de la transformation du paysage

Afin de bien gérer un système agricole, il est essentiel de tenir compte des différentes interactions entre les activités agricoles, les processus environnementaux et les dynamiques territoriales. Dans ce contexte s'inscrit la géoagronomie qui se définit comme « *l'articulation entre la géographie et l'agronomie qui se fait par référence à des questionnements communs sur le territoire et en développant des méthodes de modélisation spatiale* » (Lardon *et al.*, 2012a) (Figure 11). La géoagronomie s'intéresse à des structures géographiques auxquelles sont appliquées et ajustées des théories agronomiques (pratiques agricoles, succession de cultures, etc.).

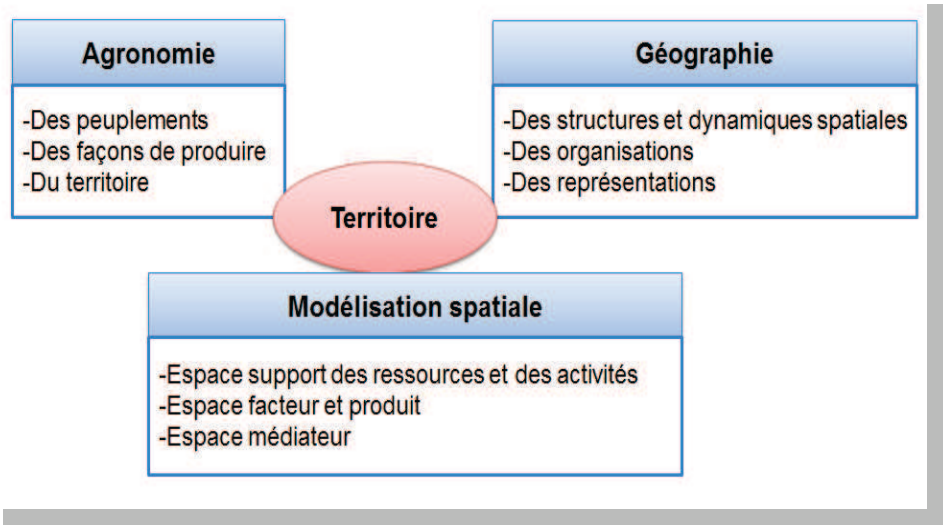


Figure 11. Représentation simplifiée de la géoagronomie (Deffontaines, 2006)

La géoagronomie est basée sur la modélisation spatiale de la transformation des structures paysagères et de l'espace. Il s'agit de relier le visuel au fonctionnel et les formes aux processus à l'aide d'un diagnostic géoagronomique (Deffontaines, 2006; Lardon *et al.*, 2012b). Ce diagnostic comprend trois étapes: observer et décrire les éléments exprimant l'identité paysagère et territoriale (occupation du sol, infrastructures, taille des parcelles…) (Lardon, 2012); comprendre la caractérisation de ces éléments selon une lecture agronomique mettant en relation la structure du paysage et le fonctionnement de l'exploitation agricole (Deffontaines, 2004), et agir en regroupant toutes les actions nécessaires à la conception d'interventions (Benoît *et al.*, 2006). Aujourd'hui, certaines formes d'agriculture respectueuses de l'environnement, dont l'agroécologie, remettent le paysage au centre du projet agricole à travers des démarches de spatialisation qui structurent les éléments paysagers. Mais la question qui se pose est: à quelle échelle spatiale doit-on étudier le paysage agricole ?

3.3. Evolution de l'échelle d'analyse : de la parcelle au territoire

Le territoire a connu plusieurs entrées conceptuelles et méthodologiques en sciences humaines. Il est difficile d'en avoir une définition simple et unique. D'après (Moine, 2014) « *Le territoire est un système complexe dont la dynamique résulte de boucles de rétroaction qui lient un ensemble d'acteurs et l'espace géographique qu'ils utilisent, aménagent et gèrent en fonction de leurs représentations,*

passées, présentes et projetées ». Selon le même auteur, le territoire est composé de quatre sous-systèmes: *i)* l'espace géographique qui correspond à l'espace organisé par les sociétés; *ii)* les représentations individuelles et collectives de l'espace faites par les acteurs; *iii)* les acteurs agissant directement ou indirectement sur l'espace géographique en l'utilisant, en l'aménageant et en le gérant en fonction de leurs représentations et *iv)* le temps qui sous-tend l'ensemble de ces sous-systèmes (Figure 12).

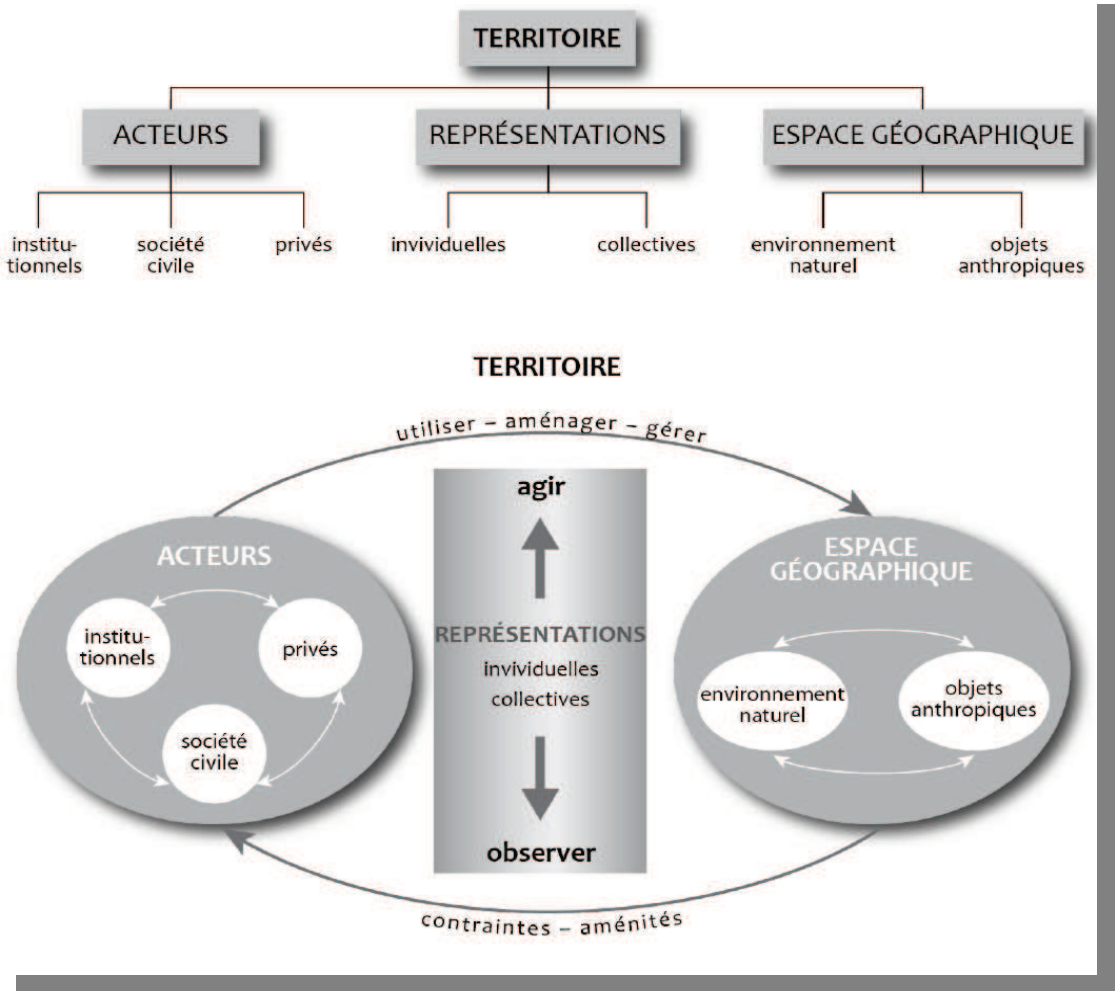


Figure 12. Le système territoire vu par désagrégation et sous forme de graphe causal (Moine, 2014)

Un territoire agricole est considéré comme un agroécosystème complexe. Il s'agit d'un espace délimité géographiquement et juridiquement. Il est caractérisé par ses propres données (climatologiques, hydrographiques, géologiques, etc.) et celles de son environnement (Corade, Del'Homme, 2013). Le territoire est également considéré comme un ensemble d'unités spatiales emboitées. Cet ensemble est constitué de la parcelle culturale, de l'exploitation agricole et d'autres échelles plus larges présentant tout l'environnement qui les entoure (le bassin versant, la région, etc.). Suite aux nouveaux enjeux de l'agriculture, la discipline agronomie ainsi que la mise en place des pratiques agricoles ont connu une évolution au niveau de l'échelle de travail. Pendant longtemps, la parcelle culturale et l'exploitation agricole étaient les unités de base de la gestion agricole.

L'échelle de la parcelle est celle qui a été le plus souvent étudiée. Au niveau de cette échelle, l'agronome n'a pas cessé de chercher à comprendre les liens entre pratiques agricoles, itinéraires techniques, état du milieu et rendement. La parcelle culturale est définie par Houdart (2005) comme *« une portion de terrain portant une même culture soumise à une même conduite »*. Elle constitue l'unité spatiale d'utilisation et de gestion agronomiques où se succèdent les opérations culturales et au niveau de laquelle l'agriculteur enregistre ses pratiques agricoles (Gras *et al.*, 1989). C'est l'échelle sur laquelle l'agriculteur met en pratique ses décisions techniques à chaque campagne culturale.

Cependant, l'échelle de la parcelle ne tient pas compte de tous les facteurs d'une exploitation agricole. En effet, si la mise en œuvre d'un système de cultures se fait au niveau de la parcelle culturale, l'analyse de ses déterminants doit être réalisée au niveau de l'exploitation agricole. En outre, chaque parcelle culturale est caractérisée par un itinéraire technique (suite chronologique, logique et ordonnée de techniques appliquées à une culture tout au long de son cycle de végétation). Chaque itinéraire technique n'est pas choisi par hasard par l'agriculteur, mais il est déterminé en fonction d'un certain nombre de critères et contraintes techniques, économiques et sociales (Milleville, 1987; Sebillotte, 1974). Le raisonnement de l'itinéraire technique se fait donc à un niveau plus global que la parcelle culturale. L'analyse du système de cultures ainsi que le raisonnement des itinéraires techniques ont donc obligé les acteurs à passer de l'échelle de la parcelle culturale à celle de l'exploitation agricole.

L'exploitation agricole constitue le niveau de diagnostic technico-économique où l'agriculteur conçoit et gère son système de productions en fonction de ses objectifs (Sebillotte, Soler, 1990). C'est une unité de décision stratégique pour l'agriculteur. En effet, elle constitue un système dans lequel s'intègrent différents niveaux de décision, des plus stratégiques (choix des productions, de leur combinaison, des ressources productives, etc.) à ceux qui portent sur l'allocation des ressources productives aux différentes productions (Aubry, 2007). L'exploitation agricole est un ensemble d'éléments (intrants, produits, sous-produits, moyens de production, etc.) en interaction dynamique et permanente avec le milieu, auquel s'ajoutent différents flux (de matière, de travail, d'informations et monétaires). La présence de ces flux est essentielle pour le fonctionnement de l'exploitation agricole qui est constituée de plusieurs sous-systèmes (Bonneviale *et al.*, 1989):

- ✓ Un système d'opérations (ou système de production) dont la fonction principale est de mettre en œuvre l'ensemble des opérations qui nécessite la gestion des processus productifs.
- ✓ Un système de décisions qui permet d'orienter et d'assurer le pilotage du système d'opérations en fonction des objectifs de pilotage. Il peut être divisé en deux sous-systèmes: le système de finalités qui présente les orientations et les aspirations formulées à propos du fonctionnement de l'exploitation, et le système de pilotage qui présente le niveau des prises de décisions adéquates avec l'ensemble d'objectifs.
- ✓ Un système d'informations qui assure l'assemblage entre le système de décisions et le système d'opérations. Il produit les informations en provenance du système d'opérations et permet au sous-système de pilotage de contrôler les processus productifs et leurs combinaisons au sein du système d'opérations.

Toute action au sein de l'exploitation agricole nécessite une ou plusieurs décisions. Les actions font partie du système d'opérations ou d'informations alors que les décisions appartiennent au système de

pilotage. L'exploitation agricole constitue un niveau plus global pour la synthèse des informations, l'appréciation des risques liés aux pratiques agricoles, les choix stratégiques et les déterminations des modalités techniques. Cette unité spatiale est utilisée par différents géographes et agronomes dans plusieurs travaux de typologie afin d'étudier la diversité des systèmes de cultures, de productions et des espaces ruraux (Capillon, 1993).

Cependant, l'apparition des problèmes environnementaux et le développement de projets collectifs, portant sur l'étude et la mise en évidence des impacts des pratiques agricoles sur l'environnement et la santé humaine, ont imposé l'insertion de l'exploitation dans des entités territoriales supérieures. Par conséquent, l'évolution a atteint une échelle beaucoup plus large, celle du paysage ou du territoire. L'exploitation agricole ne constitue donc plus un système fini, mais un sous-système dans un territoire plus global dont la gestion est multi-acteurs. En effet, on passe d'une approche globale centrée sur l'agronomie à une approche pluridisciplinaire, systémique incluant aussi des sciences sociales suite à l'apparition d'une nouvelle dimension "socioterritoriale" (Dos Santos, 2002). L'approche systémique complète l'approche analytique classique qui réduit le fonctionnement des phénomènes aux éléments qui les composent sans tenir compte de l'environnement qui les entoure.

Deux principales composantes constituent le territoire: la composante spatiale (des surfaces, des entités physiques, etc.) et la composante sociale (des humains). Le territoire est donc un espace géré par des acteurs qui interagissent entre eux à travers des rapports de forces, de hiérarchie et de complémentarité en construisant ainsi une dimension organisationnelle (Lévy, 1999). Au sein du territoire, les différents acteurs peuvent échanger, dialoguer et négocier afin de gérer différentes situations et de mettre en place de nouvelles stratégies de gestion et des dynamiques agraires. Ces actions sociales peuvent entrainer des changements dans les modes d'exploitation des milieux et l'occupation de l'espace. Il s'agit donc d'un ensemble de réseaux sociaux spatialisés (Frémont, 1976).

L'approche systémique est la plus adaptée pour comprendre la complexité de l'exploitation agricole et étudier les interactions avec son environnement (Dos Santos, 2002). Elle refuse toute réduction ou simplification de phénomènes complexes. En l'absence de toute complexité, la démarche analytique classique peut être suffisante pour appréhender le fonctionnement des phénomènes. Dans ce contexte, l'étude d'un système de production agroécologique et son analyse peuvent être faites sur les trois échelles spatiales: la parcelle culturale, l'exploitation agricole et le territoire. En effet, l'agroécologie est un mode de production complexe où l'exploitation entretient des interactions dynamiques avec son environnement. L'étude des itinéraires techniques (traitements et fertilisations des cultures) est faite à l'échelle de la parcelle, alors que celle de la mise en place des pratiques agroécologiques (rotations et assolements des cultures, couverture du sol, etc.) est menée à l'échelle de l'exploitation agricole. Un changement technique ou stratégique à l'échelle de l'exploitation (modification de l'occupation du sol, mise en place des infrastructures agroécologiques, etc.) entraine un réaménagement de l'espace, donc une modification du paysage à l'échelle du territoire. De plus, les interactions entre l'exploitation et son environnement (dynamiques des eaux, cycles biogéochimiques, flux de matière, etc.) ne peuvent être étudiées qu'à l'échelle du territoire.

Dans une approche systémique, il est essentiel de prendre en compte la dimension temporelle dans l'étude de fonctionnement des systèmes pour comprendre leur évolution. Or, l'analyse des systèmes par des géographes et/ou des aménageurs nécessite une deuxième dimension à leur fonctionnement:

l'espace. D'où, l'émergence des "systèmes géographiques" à partir des années 1970, où des systèmes spatiaux ont commencé à être étudiés à la place des phénomènes spatialisés au niveau d'un territoire (Ayadi, 2013). Les acteurs ont besoin d'outils d'aide à la décision qui leur permettent de résoudre les problématiques, de trouver des solutions pertinentes, de choisir les propositions qui sont appropriées aux objectifs ainsi qu'aux critères définis et de mettre en place des stratégies de gestion et de développement territorial. La construction de ces outils d'aide à la décision se base principalement sur la modélisation, la cartographie et l'intégration de certains indicateurs d'évaluation.

3.4. Aide à la décision dans l'entreprise

« *L'aide à la décision est une approche scientifique des problèmes de décision qui se posent dans tout contexte socio-économique* ». Elle concerne généralement tout problème présentant à la fois un enjeu et une difficulté (Vanderpooten, 2008) et s'articule autour d'un axe qui relie la structuration de l'information à son traitement par des méthodes spécifiques de calcul. Les objectifs de l'aide à la décision est d'aider les décideurs à comprendre les problèmes, de les orienter et de proposer des alternatives possibles, et non pas de fournir des solutions prêtes à exécuter (Jallas, Crétenet, 2003).

Il est obligatoire de classer les décisions selon un certain nombre de critères (nombre, nature, échéance, objet, complexité, etc.) car ces dernières n'ont pas la même influence sur le fonctionnement d'une entreprise en fonction de leurs caractéristiques. Etablir une typologie des décisions revient à identifier les principaux facteurs qui agissent sur la prise de décision. Cette typologie amène le décideur à s'engager par la suite dans un processus général de formalisation de la décision. Le classement des décisions suivant leur niveau de structuration est important. En effet, le nombre et la complexité des paramètres intervenant dans un processus de décision peuvent être très variés. La formalisation de la décision devient possible quand ces paramètres ne sont pas nombreux et facilement identifiables ainsi que quantifiables. Toute problématique est donc soumise à un ensemble d'opérations successives et exécutées dans un ordre précis et sous certaines contraintes. Ces opérations permettent de passer des informations de base aux choix définitifs: il s'agit donc de décisions *programmables*. Toutefois, si les paramètres de décisions sont nombreux ou qualitatifs, leur soumission à un algorithme de traitement prédéfini devient pratiquement difficile voire impossible. Ces décisions, souvent imprévisibles mais fréquentes, sont dites *non programmables* (Ayadi, 2013). Parmi les décisions non programmables, deux cas doivent être distingués: les décisions bien structurées et les décisions faiblement structurées (ou non structurées) (Lévine, Pomerol, 1989; Simon, 1987; Zakwan, 2007):

Une décision est *bien structurée* quand elle est issue d'un processus connu et explicite permettant de traiter les informations dans le système. C'est-à-dire quand les principaux paramètres sont à peu près identifiables. S'il est difficile d'utiliser une procédure standard de résolution, le décideur peut néanmoins faire appel à des outils d'aide à la décision qui éclaireront son choix.

Une décision *peu ou mal structurée* quand les paramètres à prendre en considération sont multiples et complexes. Dans ce cas, aucun processus de résolution préétabli ne peut être mis en œuvre. Pour trouver la solution satisfaisante, le décideur doit faire appel à sa capacité de jugement, à son expérience, à son savoir-faire et parfois à son intuition. Dans ce genre de décisions, il est probable que la stratégie du décideur sera une stratégie progressive avec des allers-retours entre les différentes phases du processus de décision.

3.5. Comportement des agriculteurs dans la prise de décisions

Avec l'orientation de l'agriculture vers la durabilité et la mise en place des plans et des stratégies agricoles de plus en plus innovants, le monde agricole ne cesse d'évoluer. Pour faire face à cette évolution, les producteurs sont contraints de changer ou d'adapter leurs stratégies et pratiques de production agricole. Or, l'agriculture évolue dans un univers incertain. En effet, le contexte politique, le changement climatique, la variation des besoins alimentaires, l'internationalisation des marchés, l'instabilité des prix, etc. sont tous des éléments incertains qui peuvent influencer les actions humaines, et par conséquent la prise de décisions et les choix de pratiques agricoles. Les actions humaines sont la résultante de contraintes et d'objectifs. En s'interrogeant sur leurs choix techniques, sur l'évolution de leurs systèmes de production et sur leurs grandes orientations stratégiques, les producteurs fixent des objectifs et examinent les différentes contraintes techniques, financières et matérielles. En fonction de ces objectifs et contraintes, ils élaborent des décisions concernant l'orientation de l'exploitation et agissent en exécutant leurs choix (Chia *et al.*, 2014).

Le comportement stratégique par rapport à la prise de décisions concernant les pratiques agricoles à mettre en œuvre peut être différent d'un producteur à l'autre. En effet, les producteurs réagissent différemment en fonction de leur environnement (Gray *et al.*, 2009). La décision se construit sur la base des expériences accumulées et d'échanges avec d'autres acteurs (autres producteurs, conseillers, etc.). Le producteur peut anticiper et prendre une décision pour le futur, mais le plus important est que cette décision soit favorable pour la durabilité de son exploitation agricole. Soler (1989) signale que *«le comportement stratégique en avenir incertain consiste moins à programmer à l'avance les décisions qu'il faudra prendre dans le futur que de s'assurer que les décisions prises en temps réels convergent pour construire le devenir de l'entreprise »*

La prise de décisions est un processus compliqué car les actes techniques sont dépendants les uns des autres. Une technique agricole peut jouer sur plusieurs composantes du système de production agricole. Autrement dit, plusieurs objectifs peuvent être atteints avec la mise en place d'une même technique agricole. En outre, il existe plusieurs techniques pour atteindre un même objectif. De ce fait, les outils d'aide à la décision permettent d'atténuer la complexité du processus de prise de décisions en analysant les déterminants menant à une décision et en proposant différents scénarios possibles. Ces outils explicitent les objectifs et les contraintes afin d'identifier les différents choix possibles pour résoudre un problème et aboutir à une amélioration. Cependant, l'aide à la décision nécessite de comprendre le comportement du producteur, les motifs de ses décisions et ses choix afin de le guider vers les bonnes pistes (Chia *et al.*, 2014). D'après Chavas *et al.* (2010) , comprendre le processus de prise de décisions est un enjeu important et fondamental pour réfléchir à toute politique de soutien ou d'aide.

Les producteurs ont leurs propres raisons de faire ce qu'ils font. Il y a toujours des explications à leurs comportements. Ils prennent les décisions qui leur semblent bonnes en fonction de leurs connaissances et des informations qu'ils possèdent (Chia *et al.*, 2014). En se basant sur une méthode de diagnostic portant sur l'analyse des pratiques agricoles, Benoît *et al.* (1988) ont montré qu'il est possible d'analyser et de porter un jugement sur son exploitation en tenant compte de sa propre perception. La maximisation du profit est le principal objectif d'un producteur. Ce dernier prend ses décisions de telle sorte que son profit soit maximum dans le cadre des contraintes auxquelles il est soumis (ressources disponibles, lois agricoles, etc.). Chaque producteur pose les mêmes questions: Quoi produire?

Combien? Avec quelles ressources? En quelles quantités? Avec quelles techniques? En revanche, les comportements réels des producteurs ne reposent pas nécessairement sur le principe de maximisation préconisé par la théorie de la production[20] (Walliser, 2008).

La théorie de la production est une théorie statique, elle ne permet pas une évolution dans le temps. Or pour un agriculteur, les décisions à prendre s'échelonnent dans le temps en fonction des calendriers agricoles, des cultures, des saisons etc. Par conséquent, cette théorie ne constitue pas une bonne base pour comprendre les comportements des agriculteurs et leurs décisions, en particulier celles pour le long terme (choix des investissements, adoption des innovations techniques, etc.), il faut plutôt analyser la relation objectifs-situation. La situation ou l'environnement du producteur est définit par l'ensemble des contraintes. La prise de décision dépend des objectifs fixés par le producteur et de sa situation. Ses actions vont donc entrainer un processus de double adaptation. Il doit adapter la situation à ses propres objectifs, mais aussi ses objectifs à la situation en fonction des résultats obtenus et de l'expérience accumulée. La situation n'est jamais parfaitement connue dans tous les détails. C'est en agissant que l'acteur prend mieux conscience des contraintes de sa situation et fixe alors ses objectifs. L'adaptation permanente de l'agriculteur peut donc expliquer son comportement aussi bien dans ses décisions quotidiennes que dans ses choix stratégiques à plus long terme (Chia *et al.*, 2014; Soler, 1989). Dès lors, nous pouvons dire que l'agriculteur ne cherche pas seulement à maximiser son profit, il cherche aussi à atteindre une situation satisfaisante qui ne correspond pas forcément à un optimum économique (Brossier *et al.*, 2003).

3.6. Aide à la décision par modélisation

L'utilisation d'un modèle est nécessaire pour décrire et analyser un système réel. D'après Durand-Dastes (2001), un modèle est « *une représentation schématique de la réalité, élaborée en vue de la comprendre et de la faire comprendre* ». Il ne représente jamais la réalité dans toute sa finesse mais il permet d'en donner une approximation. La modélisation ne tente pas seulement de comprendre la réalité, mais aussi de générer de solutions, d'analyser leurs comportements en fonction des paramètres et de concevoir de règles capables d'amener le système vers un état désiré. Lors d'une modélisation, il est essentiel de définir quatre points: l'objectif, le degré de complexité du modèle géré par l'utilisateur (certains modèles demandent une profonde connaissance du domaine alors que d'autres peuvent être utilisés automatiquement par une machine), la précision demandée du modèle et la procédure de validation du comportement du modèle avant son utilisation (Bontempi, Lerman, 2015).

En se basant sur le langage graphique, la modélisation permet donc de représenter un objet, une situation voire un événement considéré complexe, et par conséquent d'élaborer de modèles qualitatifs sous forme de cartes et/ou de construire de modèles dynamiques et quantifiés débouchant sur la simulation. Dans ce contexte, de nombreux outils informatiques d'aide à la décision basés sur la modélisation et la cartographie ont été développés: outils de télédétection, SIG (Systèmes d'Information Géographique), SIAD (Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision), etc. (Abbott *et al.*, 1986; Ayadi, 2013; Courbon, 1993).

[20] La production d'une entreprise est souvent exprimée par une fonction de production qui représente une relation mathématique entre d'un côté les « facteurs de production » et, de l'autre côté, la production finale elle-même. Elle fournit la quantité maximale que le producteur peut espérer obtenir compte tenu d'une certaine quantité de facteurs de production utilisés.

3.6.1. Utilisation des Systèmes d'Information Géographique

Historiquement, le premier SIG a été développé au début des années 1960 par Howard T. Fisher de l'Université Harvard, alors que le terme SIG a été utilisé pour la première fois par Roger Tomlinson en 1963. Or, le concept de SIG n'a pas été défini directement à cette période, mais il s'est construit petit à petit au fur et à mesure de l'introduction de l'informatique dans les méthodes d'analyse et de représentation de données spatiales. Depuis 1963, plusieurs SIG, de plus en plus sophistiqués, ont vu le jour. Trois périodes ont marqué le développement de cet outil: les années 60-70 représentant les premières réalisations, les années 80 pour la consolidation et l'apparition des premiers logiciels commerciaux, et les années 90 pour leur diffusion générale (Chakhar, 2006; Souris, 2002).

Les SIG sont des outils interdisciplinaires qui empruntent à des nombreuses disciplines: les domaines théoriques (géographie, informatique, statistique, géométrie, sémiologie ainsi que sciences cognitives et linguistiques) (Fischer *et al.*, 1996) et les domaines appliqués (cartographie, télédétection, bases de données, etc.) (Souris, 2002). Différentes définitions ont été attribuées au terme SIG, chacune reflète une perspective différente et renvoie à une discipline particulière. Certains mettent l'accent sur l'aspect technologique alors que d'autres se focalisent sur l'aspect gestion de base de données ou sur les aspects organisationnels et institutionnels. Or, l'objectif affiché reste essentiellement un objectif de synthèse permettant à la fois la gestion des données et l'aide à la décision. Le SIG est un logiciel qui permet d'effectuer différents traitements sur toutes sortes d'informations (graphiques ou attributaires) du moment qu'elles peuvent être référencées dans l'espace (Bordin, 2002). Les SIG ont profondément bouleversé les méthodes traditionnelles d'analyse et de gestion de l'espace, ils vont bien au-delà d'une simple fonction de stockage et de restitution graphique. En effet, ces outils permettent la collecte, le stockage, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, le partage, la diffusion et la restitution d'un gros nombre de données à référence spatiale et d'informations à composantes géographiques (Scholl *et al.*, 1996). Ces composantes géographiques sont définies par trois types de données: des données thématiques décrivant un objet géographique, des données spatiales exprimant la géométrie, la localisation et les relations topologiques et des données temporelles exprimant la dynamique et l'évolution des deux premières dimensions (Renolen, 1997; Scholl *et al.,* 1996).

Ces outils n'ont pas seulement amélioré les techniques existantes, ils ont remis en cause les concepts classiques de la géographie et renouvelé la dynamique de cette discipline. En effet, ils essayent de rassembler toutes les nouvelles méthodes de traitement de données localisées, ainsi que tous les nouveaux outils d'expression dans un seul et unique environnement, en permettant ainsi de nouvelles avancées conceptuelles, impossible à comprendre et à établir dans la séparation des techniques. Ils offrent donc aux géographes et aux informaticiens l'opportunité de réfléchir de nouveau sur l'espace géographique, sur la manière de le concevoir, de le traiter et de le représenter (Souris, 2002). Un SIG est un ensemble de sous-systèmes qui peuvent être technologiques relevant de l'environnement matériel et logiciel, de l'architecture du système et du développement de fonctions d'analyse ou informatifs dépendant d'une base de données à la fois géographique et attributaire (Maguire *et al.*, 1991). Ces sous-systèmes incluent plusieurs composantes (Burrough *et al.*, 2015) à partir desquelles une typologie des SIG peut être élaborée en mettant en évidence différentes approches.

- ✓ Les SIG peuvent être considérés comme *des boîtes à outils* utilisées surtout par des cartographes et aménageurs pour répondre à des questions géographiques (Longley, Sotherton, 1997) et traiter des données spatiales (Burrough, 1986; Curry, 1998).

- ✓ Les SIG sont aussi considérés comme *des outils d'aide à la décision* à travers les résultats qu'ils fournissent. En effet, les fonctions de collecte, de stockage, de manipulation et d'analyse de données à référence spatiale sont destinées en premier lieu à la prise de décision (Grimshaw *et al.*, 1993).
- ✓ Les SIG sont aussi *des bases de données géo-référencées* puisqu'ils sont pourvus d'un système de gestion des bases de données (Scholl *et al.*, 1996) capables de modéliser des objets, des activités et des phénomènes distribués dans l'espace (Maguire *et al.*, 1991).

D'après Mullon, Boursier (1992), les SIG sont utilisés dans les domaines qui s'intéressent aux possibilités d'analyse spatiale et de simulation à différentes échelles (les projets d'aménagement du territoire, les projets de modélisation environnementale, etc.) afin d'aider les acteurs concernés à prendre leurs décisions. Ils peuvent donc être des outils de gestion du territoire dont l'utilité se résume à trois points (Goodchild, 1992): l'archivage des données, la production des cartes et l'aide à la décision. L'archivage des données à référence spatiale dans une base de données permet d'assembler les informations utiles pour la gestion et l'aménagement territorial. La production des cartes joue un rôle très important dans la compréhension des phénomènes spatiaux car elles constituent un langage commun à tous les acteurs. La transformation des données brutes en informations spatiales utiles facilite l'analyse des données géographiques et l'aide à la décision (Longley, Sotherton, 1997).

Le traitement des données géographiques par les SIG permet de comprendre l'organisation du territoire et de construire des modèles de simulation (Theriault *et al.*, 2002). Le principe de ces outils est illustré par la superposition de différentes cartes thématiques (Figure 13). Le recours aux SIG permet d'illustrer la réalité, mais en revanche leur construction sans s'éloigner de la précision scientifique reste une tâche complexe en termes de détermination des concepts, d'organisation fonctionnelle, ainsi que d'architecture logicielle et algorithmique (Souris, 2002).

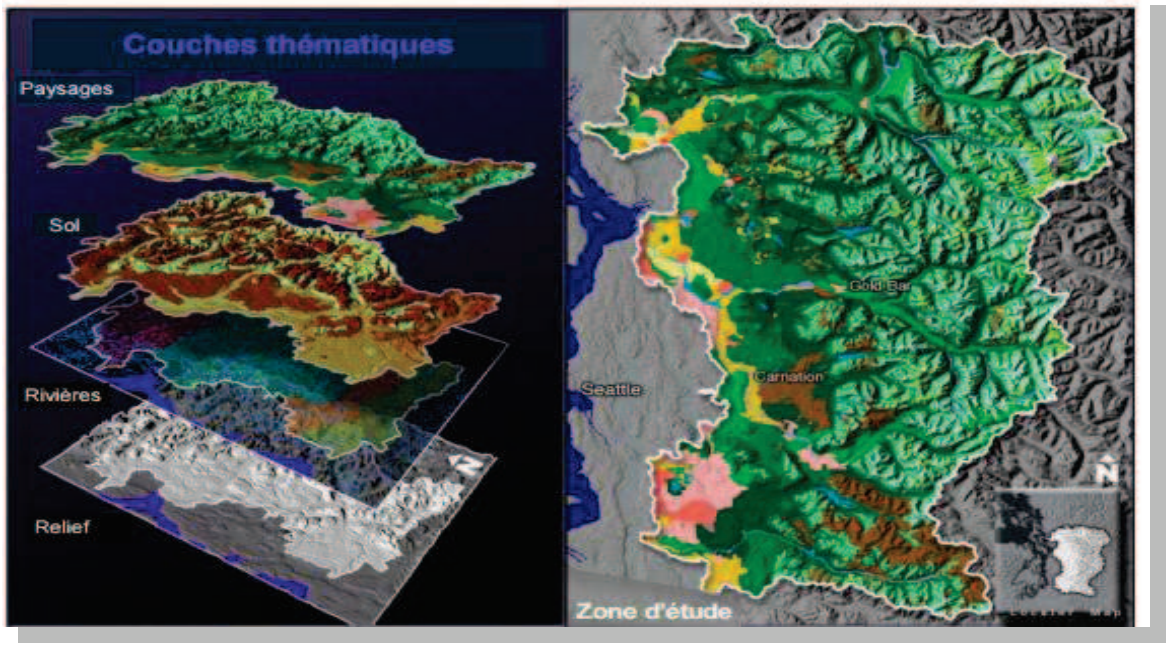


Figure 13. Illustration de la superposition des couches thématiques dans un SIG (Guernier, 2006)

3.6.2. La simulation pour l'aide à la décision

La prise de décision est parfois très difficile surtout en présence de plusieurs objectifs fixés. L'utilisation d'un outil d'aide à la décision statique ne permet pas de résoudre ce problème. Le recours à la simulation pourrait donc être une solution intéressante. En effet, un modèle développé et validé va être utilisé pour répondre à un ensemble de questions: qu'est-ce qui va se produire si on applique telle modification au système ? Comment le système va évoluer dans le temps ? Quel changement doit-on apporter pour améliorer la performance du système ? Généralement, la plupart des systèmes réels sont trop complexes pour être évalués analytiquement. Par conséquent, il est nécessaire de procéder de manière numérique via une simulation afin d'évaluer leurs caractéristiques (Bontempi, Lerman, 2015).

La simulation est un dispositif technique permettant de reproduire virtuellement le comportement d'un phénomène, d'un procédé ou d'un système réel au cours du temps afin d'étudier sa performance et de déduire des conclusions sur ses caractéristiques. C'est une représentation simplifiée et dynamique d'une réalité qui évolue sous des conditions contrôlables et observables (Loisier, 2015). Son résultat peut satisfaire plusieurs objectifs comme la prédiction, l'analyse et/ou la prise de décision. La simulation est l'un des outils les plus couramment utilisés dans les sciences appliquées, et cela pour plusieurs raisons: la disponibilité d'une capacité de calcul toujours en croissance, la nécessité de manipuler des outils plus détaillés et complexes, etc. (Bontempi, Lerman, 2015).

3.6.3. La cartographie pour l'aide à la décision

La cartographie est une discipline très ancienne, elle remonte aux premières civilisations puisque la première carte de l'humanité remonte à 2600 avant J.-C en Mésopotamie, il s'agit d'une plaquette d'argile babylonienne (Bord, 2012; Caradec, 2002). Cette discipline s'est construite peu à peu sur la base de possibilités techniques qui, pendant longtemps, n'ont pas beaucoup évoluées. Ces possibilités techniques sont apportées par le développement de l'informatique et le pouvoir de modélisation et de calcul des ordinateurs pour schématiser, modéliser le monde réel et gérer les objets qui en découlent (Souris, 2002). D'après l'ACI (Association Cartographique Internationale)[21], la cartographie est « *l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques, intervenant à partir des résultats d'opérations directes ou d'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement de cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que de leur utilisation* ».

La représentation cartographique permet de traduire des éléments réels et observables en objets géographiques dont la particularité est d'associer une localisation géographique et parfois temporelle à l'ensemble des attributs constituant la description non localisée de ces objets (Goria *et al.*, 2011; Souris, 2002). Les objets géographiques sont de trois types: le point qui est utilisé pour présenter des lieux de résidence, des sites industriels, des hôpitaux, etc., la ligne (ou le linéaire) permet de présenter des routes, des cours d'eau, des éléments d'un réseau, etc. et le polygone (ou encore l'aire ou la zone) qui présente des circonscriptions, des sites industriels étendus, des nappes d'eau souterraines, etc. La cartographie permet de réaliser tous types de cartes et diagrammes, depuis la collecte de données jusqu'à l'impression finale. Elle nécessite un ensemble de traitements scientifiques depuis les travaux sur le terrain jusqu'à la production d'une carte (la réalisation des mesures sur le terrain, l'utilisation de

[21] *http://icaci.org/*

photographies aériennes, la mise en forme graphique des données, etc.). Avec toutes les évolutions récentes des techniques cartographiques, cet ensemble de traitements a changé. La cartographie a évolué avec les progrès techniques et théoriques, mais aussi en fonction des représentations mentales et imaginaires. Elle n'est donc plus un processus linéaire, elle peut impliquer d'autres techniques et méthodes pour rendre encore plus efficaces les traitements de la géo-information (DiBiase *et al.,* 2006).

La cartographie forme un ensemble unique réunissant la science, l'art et la technologie. La réalisation d'un bon document cartographique nécessite plusieurs connaissances scientifiques et un bon savoir-faire (Cavayas, 2012). En revanche, la cartographie n'est pas que la production de cartes, mais aussi une discipline académique à part entière avec ses propres associations professionnelles, publications, programmes éducatifs, etc. Cette discipline s'est développée au cours du temps pour s'intégrer dans différents domaines (agriculture, foresterie, géologie, hydrologie, pédologie, surveillance côtière et océanique, etc.). Elle est basée sur un ensemble de techniques permettant actuellement de distinguer trois grandes branches: une cartographie mathématique ou topographique (repérage objectif et mesure de la terre), une cartographie thématique (description et explication des distributions spatiales des phénomènes géographiques) et une cartographie numérique (rendre le processus cartographique reproductible par l'ordinateur et ses périphériques) (Cavayas, 2012; Poidevin, 1999).

D'après Bord (2012), il existe une relation entre la cartographie et la géomatique. La géomatique est la science de l'information géographique; c'est le traitement informatique des données géographiques (Joliveau, 2010). Elle regroupe de façon cohérente l'ensemble des connaissances et technologies nécessaires pour produire et traiter des données numériques décrivant tout objet ou phénomène ayant une position géographique. C'est une discipline toute nouvelle puisque le terme "géomatique" n'a été proposé qu'à la fin des années 1960 par le scientifique français Bernard Dubuisson. C'est au début des années 1980 au Québec que ce terme a pris toute sa signification[22]. Or, malgré le nombre d'années qui les séparent, la carte, élément essentiel de la cartographie, apparaît comme l'un des principaux buts de la géomatique (Bord, 2012). Le géographe utilise plusieurs outils intellectuels pour décrire, identifier et analyser l'organisation géographique de l'espace. Cependant, même si des enseignants en géographie possèdent des pratiques très novatrices, une analyse rapide des programmes ou des manuels montre que ces outils ne font jamais l'objet d'une description explicite et complète ou d'un apprentissage systématique surtout en présence d'une réalité géographique complexe. Par conséquent, la carte reste encore le moyen le plus efficace pour maitriser l'espace et présenter sur un même document visuel l'objet géographique en combinant à la fois sa localisation et son contenu (Bertin, 1973; Souris, 2002).

3.6.4. Utilisation des cartes

Benimmas (1999) considère la carte comme un modèle qui permet d'abstraire et de transformer des informations non visuelles sous une forme graphique. Elle permet de faciliter leur compréhension, leur diffusion et donc la prise de décision. C'est « *une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre, et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle l'échelle »* (Rystedt, 2014). *« La carte a toujours participé à la construction des savoirs tant en géographie que dans les autres sciences sociales. Elle a une utilité majeure en*

[22] Site de l'université de Laval (Canada). Département des sciences géomatiques, Qu'est-ce que la Géomatique ?

géographie et sa part est grande dans bien d'autres disciplines comme l'histoire, l'économie, la démographie,… » (Bord, 2004). C'est une image réduite, schématisée et sélectionnée de l'espace étudié qui permet de déterminer un point du terrain dans un système de coordonnées, de calculer des distances, des altitudes, des pentes, etc. et de définir des directions. La carte ne représente jamais l'espace en grandeur réelle, c'est une réduction d'une partie de la surface de la terre, et c'est son échelle qui constitue le rapport de cette réduction. Elle est schématisée parce que les composantes de l'espace, même si elles sont réduites, doivent être simplifiées. Elle est sélectionnée, parce qu'elle ne peut jamais représenter simultanément toutes les composantes de l'espace, elle ne fait apparaitre que certains éléments qui correspondent au(x) thème(s) étudié(s) (Bouron, 2005).

La carte a deux composantes: une composante horizontale permettant de reporter des localisations sur le plan de la carte et une composante verticale permettant d'attribuer des lieux. En effet, la finalité première d'une carte n'est plus de se repérer pour mieux suivre un itinéraire, mais plutôt de repérer un phénomène dans l'espace pour mieux l'appréhender (Benimmas, 1999; Souris, 2002). Il existe plusieurs types de classification des cartes parmi lesquels celle qui repose sur la notion de leur contenu:

Des cartes topographiques qui représentent la localisation des phénomènes spatiaux avec l'indication du relief (Benimmas, 1999). Une carte topographique est « *la représentation, sur un plan, d'une partie de la surface de la terre avec ses formes et son modelé* » (Belhadad, 2007). Selon le Comité Français de Cartographie[23], c'est « *une représentation exacte et détaillée de la surface terrestre concernant la position, la forme, les dimensions et l'identification des accidents du terrain ainsi que des objets qui s'y trouvent en permanence* ». La carte topographique est produite à beaucoup d'échelles et selon des symbolisations différentes. Plusieurs systèmes de projection sont utilisés pour passer de la surface courbe de l'ellipsoïde à une surface plane comme la projection de Bonne et la projection Lambert (Belhadad, 2007; Rystedt, 2014). Pour ce genre de cartes, les échelles sont bien déterminées: pour représenter les zones rurales, la carte topographique la plus fréquente correspond à une échelle de 1/ 25 000 ou de 1/50 000 alors que pour les zones urbaines, c'est l'échelle 1/10 000 qui est la plus utilisée (Rystedt, 2014).

Des cartes thématiques qui représentent une ou plusieurs variables géographiques relatives à un ou plusieurs thèmes particuliers. Ce « *sont des cartes géographiques illustrant, par l'utilisation de divers paramètres graphiques (couleur, symboles, taille, etc.),le comportement d'un phénomène en relation avec sa localisation spatiale* » (Goria *et al.*, 2011). Elles peuvent être de nature qualitative (les principaux types de fermes par exemple) ou quantitative (la variation en pourcentage de la population par exemple). La représentation des concepts et des phénomènes abstraits et difficiles (un réseau de communication, une distribution spatiale d'une maladie, une corrélation positive ou négative entre la richesse et l'accroissement démographique, etc.) constitue la particularité de la carte thématique (Benimmas, 1999).

Le langage cartographique réunit des moyens graphiques permettant l'utilisation des signes pour transmettre une information. Ce langage doit satisfaire plusieurs objectifs: respecter les règles générales de la perception visuelle, être universel ou compréhensible par tous ceux qui ont ces mêmes règles et être cohérent en évitant la redondance, la surcharge ou l'ambiguïté. En effet, la cartographie

[23] *http://www.lecfc.fr*

peut représenter un phénomène de plusieurs façons en combinant différentes variables dont elle dispose, mais en choisissant sa représentation, le cartographe doit garantir la clarté et la cohérence de son message qui doit être transmis au lecteur à un coût mental le plus réduit possible (Benimmas, 1999; Bertin, 1973).

Pour être compréhensibles et utiles, toutes les cartes, indépendamment de leurs types, doivent inclure certaines informations: *i)* le titre, la localisation, le sujet et la date du contenu, *ii)* la légende qui indique la signification des symboles sur la carte et leurs relations avec la base de données, *iii)* l'échelle, *iv)* la projection qui indique comment la longitude et la latitude des points sont projetées dans un système de coordonnées planes, et *v)* les noms de l'auteur, de l'éditeur et des sources permettant de savoir qui a créé la carte (Bord, 2012; Rystedt, 2014). Les cartes doivent répondre à un certain nombre de questions qu'elles sont supposées résoudre (quel espace géographique prendre en considération ? comment accéder à tel endroit ?, etc.) (Bord, 2012).

Conclusion du chapitre III

La lecture analytique des différents concepts et approches présentés dans ce chapitre a permis de constater la convergence et la complémentarité entre la géographie, l'agronomie et l'environnement. L'évolution de l'échelle d'analyse agronomique et l'intégration de la dimension "socioterritoriale" dans l'étude des enjeux environnementaux ont entrainé l'apparition de l'approche systémique. Cette approche est la seule capable de faire comprendre aux différents acteurs concernés la complexité de l'exploitation agricole afin de pouvoir étudier les interactions de cette dernière avec l'environnement qui l'entoure. Pour résoudre les différentes problématiques environnementales liées à l'activité agricole, il est nécessaire de prendre en considération cet environnement avec toutes ses dimensions. Or, cela est parfois très compliqué car les paramètres entrant en jeu et les facteurs d'impacts sont multiples et interagissent entre eux à différents niveaux. Afin de résoudre leurs problématiques, de trouver des solutions, de prendre des décisions et de mettre en place des stratégies de gestion et de développement territorial, les acteurs ont donc besoin d'outils d'aide à la décision permettant différentes approches de spatialisation. La construction de ces outils (les SIG par exemple) se base principalement sur la modélisation, la cartographie et l'intégration de certains indicateurs d'évaluation.

Dans ce cadre, ces outils peuvent servir dans l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles et de leur transition agroécologique. En effet, la modélisation des exploitations agricoles et l'utilisation d'un SIG aident à connaitre les caractéristiques du territoire étudié et à prendre des décisions afin d'améliorer les situations technico-économique et agroécologique de ces exploitations. Cependant, l'évaluation d'un phénomène (durabilité, transition…) et la prise de décision suite à la mise en place des scénarios multiples ne peuvent pas se faire uniquement en ayant recours à la modélisation. De plus, il s'est avéré qu'en utilisant les SIG, certains paramètres peuvent être difficiles à modéliser. Cela a poussé les scientifiques à chercher d'autres alternatives comme le recours à des méthodes d'évaluation basées sur des indicateurs. L'étude et la compréhension du phénomène à évaluer sont primordiales afin d'identifier les indicateurs, leurs paramètres et l'échelle de l'évaluation. La transition agroécologique s'insère dans un contexte du développement et d'agriculture durables. Par conséquent, la conception des indicateurs d'évaluation de la durabilité et/ou de la performance de transition agroécologique des exploitations agricoles exige de comprendre et d'étudier la notion de la durabilité ainsi que ses alliés: développement et agriculture durables.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

L'état de l'art mis en évidence tout au long des trois chapitres permet d'analyser le contexte général de ce travail de recherche. L'utilisation des produits phytosanitaires est importante pour la protection des productions végétales et la garantie des rendements, mais en revanche elle constitue une source de nombreux effets négatifs pour la santé publique et l'environnement. En effet, la bioaccumulation de ces produits dans les organismes vivants est à l'origine de certains risques de maladies à court et à long terme, notamment des troubles biologiques. Leur transfert dans les différents compartiments naturels entraine leur pollution et la dégradation de la biodiversité. La réduction voire la suppression de l'utilisation des pesticides chimiques est devenue donc une nécessité et une demande sociale. Par conséquent, les modes de production agricole ont connu une évolution basée non seulement sur la réduction de l'usage des pesticides chimiques mais aussi sur l'utilisation des fonctionnalités naturelles des écosystèmes. Le passage à l'agroécologie, en appliquant des concepts et des principes écologiques à la conception d'une agriculture durable, peut être une meilleure solution pour préserver la santé humaine, le bien-être animal et conserver l'environnement. Or, la mise en place d'un système de production agroécologique nécessite l'acquisition de certains points importants qui parfois peuvent constituer des obstacles à la transition. En effet, l'exploitant doit avoir une connaissance approfondie des fonctionnalités naturelles, des services écosystémiques et de leurs avantages. Il doit également savoir les caractéristiques de son exploitation agricole ainsi que les conditions naturelles et climatiques du milieu, etc. Pourtant, malgré ces obstacles, l'agroécologie est largement défendue grâce à d'autres points. Ce mode de production ne repose pas sur les intrants mais sur des processus naturels, des ressources locales et des circuits internes. Sa performance en termes de consommation de ressources naturelles non renouvelables est supérieure à celle de l'agriculture conventionnelle. Il favorise à la fois la résilience de l'agroécosystème et l'autonomie de l'agriculteur. Il lutte contre la pauvreté, la famine et la migration en permettant aux petits agriculteurs pauvres d'améliorer la productivité de leurs terres même à petite échelle, etc.

La mise en place des pratiques agroécologiques peut avoir plusieurs avantages environnementaux, économiques et sociaux en présence d'une grande complexité. Le recours à l'agroécologie et son développement nécessitent la complémentarité entre certains éléments. Ces derniers ne sont autres que les savoir-faire traditionnels des agriculteurs, les connaissances basées sur l'expérimentation et la recherche scientifique, le soutien des pouvoirs publics, la coopération de la collectivité et la prise en considération de l'environnement avec toutes ses dimensions. La transition agroécologique et l'amélioration de sa performance exigent des prises de décisions. L'utilisation des outils d'aide à la décision permet donc de faciliter les choix en tenant compte de toute complexité. En se basant sur la modélisation et la cartographie, ces outils peuvent jouer un rôle très important dans le diagnostic ainsi que l'évaluation de la durabilité de l'exploitation et de la performance de sa transition agroécologique. Ils peuvent également avoir un rôle dans la prise de décisions à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation et territoire). Dans un processus d'évaluation de durabilité et/ou de performance, le choix et l'utilisation des outils de modélisation sont fonction des problématiques à résoudre et des objectifs fixés. En revanche, certains paramètres peuvent être difficiles à modéliser, d'où l'importance de l'émergence de nouveaux outils d'évaluation basés sur des indicateurs.

Afin de développer un outil d'aide à la décision permettant de diagnostiquer, d'évaluer la performance de la transition agroécologique des exploitations agricoles et de proposer des scénarios d'amélioration, nous proposons, dans le cadre de cette présente étude, une approche systémique et transdisciplinaire basée sur une synthèse méthodologique englobant deux démarches complémentaires géographique et agronomique. Cette approche est basée sur différentes données: agronomiques, environnementales, économiques, sociales et géographiques. Le recours à des logiciels de SIG permet de représenter les caractéristiques de la zone d'étude, des exploitations agricoles enquêtées ainsi que celles de leurs parcelles culturales, de les analyser et de participer à la prise de décisions en facilitant l'intervention à l'échelle de la parcelle et/ou de l'exploitation agricole. Les différentes représentations cartographiques sont établies à l'aide d'un logiciel SIG (QGIS) et des enquêtes de terrain.

DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION ET D'ACCOMPAGNEMENT POUR LE DIAGNOSTIC ET L'EVALUATION DU PROCESSUS DE TRANSITION AGROECOLOGIQUE

INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE

La transition agroécologique s'insère dans un contexte du développement durable. La conception des indicateurs d'évaluation de la durabilité et/ou de la performance de transition agroécologique des exploitations agricoles exige donc de comprendre et d'étudier la notion de la durabilité ainsi que ses alliés: développement et agriculture durables. Le quatrième et le cinquième chapitres de la deuxième partie mettent l'accent sur les concepts relatifs à la durabilité, au développement durable et à l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles. A partir de là, la problématique, les hypothèses et l'originalité de ce travail de recherche sont identifiées. Quelques exemples de méthodes classiques d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles sont présentés dont trois d'entre elles sont testées sur trois exploitations biologiques en France. Les résultats obtenus permettent de déterminer l'objectif de l'étude et de proposer ainsi notre outil d'aide à la décision et d'accompagnement pour le diagnostic et l'évaluation du processus de transition agroécologique.

Dans le quatrième chapitre sont présentées la notion de développement durable, ses origines, ses dimensions et sa relation avec l'agriculture durable ainsi que la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole. Nous montrons dans ce chapitre pourquoi l'agroécologie, modèle d'agriculture durable, est la plus conforme aux exigences du développement durable et comment ce mode de production peut assurer les principes de la durabilité des systèmes agricoles.

Nous étudions la relation entre le concept de développement durable et la notion d'évaluation de la durabilité dans le cinquième chapitre. Nous mettons l'accent sur l'importance de cette évaluation pour la prise de décisions et sur les approches multicritères nécessaires pour prendre en considération les différentes composantes de la durabilité. Dans ce contexte, quelques exemples de modèles classiques, destinés surtout à évaluer la durabilité environnementale et/ou sociale et/ou économique au niveau des exploitations agricoles conventionnelles, ainsi que des comparaisons entre leurs atouts, leurs limites, leurs similitudes et leurs différences sont étudiés. Au stade de cette présente étude, sont présentés la problématique, l'objectif de recherche et les hypothèses à vérifier. En effet, afin de comprendre les stratégies des agriculteurs et mieux les conseiller, il est nécessaire d'évaluer, dans les contextes socio-économiques et agroécologiques les plus divers, les performances des systèmes de production agricole existants ou innovants ainsi que leur progression vers une agriculture durable. L'évaluation de la durabilité des exploitations biologiques et/ou agroécologiques doit se faire sur les mêmes dimensions (agro-environnementale, sociale et économique) que les exploitations conventionnelles. Pour cela, nous nous sommes posés la question de savoir si les méthodes d'évaluation classiques étaient adaptées pour mesurer la performance de transition agroécologique des exploitations agricoles, et si leurs indicateurs sont pertinents pour ce genre d'évaluation. Pour répondre à cette question, les trois méthodes d'évaluation de la durabilité IDEA (Indicateurs de Durabilité d'une Exploitation Agricole), DIALECTE (Diagnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation) et RAD (Réseau Agriculture Durable) ont été testées sur trois exploitations biologiques en France.

Le sixième chapitre montre que l'évaluation du processus de transition agroécologique doit tenir compte des spécificités de chaque système de production et de la dynamique du comportement agroécologique. Il présente l'outil d'aide à la décision et d'accompagnement pour le diagnostic et l'évaluation du processus de transition agroécologique développé dans ce présent travail. Les différentes étapes de la construction de cet outil ainsi que ses critères innovants sont ainsi identifiés.

CHAPITRE IV : DURABILITE, DEVELOPPEMENT ET AGRICULTURE DURABLES

Les différents problèmes environnementaux et sanitaires observés ces dernières décennies (ressources naturelles et énergétiques surexploitées et polluées, zones rurales dégradées, maladies développées, etc.) nous invitent à réfléchir sur l'avenir de notre planète et surtout sur le capital naturel que nous laissons aux générations futures. Face à ce constat, le défi devient de plus en plus compliqué: Comment faire pour nourrir neuf milliards de personnes en 2050 ? Comment faire pour vivre dans des conditions sociales, économiques et environnementales meilleures ? Il faut penser à un changement radical qui permet la durabilité économique, sociale et agro-environnementale des systèmes de production agricole. Il faut penser au développement durable.

4.1. Développement durable

Le développement durable est une notion de plus en plus largement diffusée, mais les enjeux entourant sa définition, son origine et sa mesurabilité suscitent encore beaucoup de discussions. Elle fait aujourd'hui partie intégrante du discours de la majorité des acteurs associatifs et des dirigeants politiques. Les discours et les intérêts de ces derniers sont parfois contradictoires provoquant des interrogations sur le sens et les objectifs du concept de développement durable: Existe-t-il une seule définition du développement durable ? Comment mieux comprendre les enjeux, les acteurs et la mise en œuvre concrète du développement durable ? Le développement durable a-t-il un impact sur les transformations économiques et sociales ?, etc.

4.1.1. Origine et évolution

Le développement durable change les théories classiques du développement autour desquelles s'étaient organisées les politiques d'aide publique menées depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Le développement est perçu comme synonyme de croissance économique qui permet de satisfaire les besoins essentiels des êtres humains, alors que le développement durable introduit une nouvelle vision environnementaliste insistant sur le respect des ressources naturelles limitées et non renouvelables de la planète (Brunel, 2012; Meadows *et al.*, 1972). D'après le rapport *Brundtland*, le développement durable est *« un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs […]. Au sens le plus large, le développement soutenable ou durable vise à favoriser un état d'harmonie entre les êtres humains et entre l'homme et la nature »* (Brunel, 2012; Larochelle, 2011).

L'émergence des premiers mouvements liés au développement durable a commencé dès le début des années 1970 suite à la forte croissance démographique mondiale. La grande pression sur les ressources alimentaires et énergétiques mondiales a entrainé une baisse générale de production et de consommation. Par conséquent, un courant contestataire commence à révoquer les risques que cette pression fait peser sur l'avenir de l'humanité. C'est dans ce contexte qu'apparait le développement durable. En 1968, la conférence Biosphère de l'UNESCO (United Nations Educational, Scientific and

Cultural Organization) a avancé l'idée d'un « développement écologiquement viable » et en 1969, 1971 naissaient les deux ONG environnementales, *Friends of the Earth* et *Greenpeace*, qui ont dénoncé le gaspillage, la pollution et la disparition des espèces (Brunel, 2012; Meadows *et al.*, 1972). Depuis 1982, d'autres actions ne cessent de s'imposer dans le monde entier. C'est le cas de la conférence des Nations-Unies, appelée *Sommet de la Terre sur l'environnement et le développement*, qui s'est déroulée à Rio de Janeiro en 1992 (Ballet *et al.*, 2004; Lourdel, 2005). Depuis cette conférence, le contexte mondial a changé. Les changements climatiques et la crise économique ont fait évoluer les mentalités faisant du développement durable une priorité partagée. En effet, suite aux engagements pris durant le Sommet de la Terre, à Rio en 1992 et renouvelés à Johannesburg en 2002, la France a élaboré une stratégie nationale de développement durable pour la période 2003-2008. Dans ce contexte, le Grenelle de l'environnement est lancé en juillet 2007 afin de placer le développement durable au cœur des priorités nationales. Il vise à créer les conditions favorables à l'émergence d'un nouveau contexte français en matière de développement durable (Nonet, 2010).

L'évolution de la notion de développement durable s'est accompagnée par une évolution au niveau de l'implication des acteurs. En effet, l'émergence de cette notion a commencé avec les scientifiques et les ONG, mais à partir de 2002 et jusqu'à aujourd'hui elle est devenue une préoccupation principale pour les gouvernements et plusieurs acteurs sociaux et économiques (entreprises, consommateurs, citoyens, etc.) (Bourg, 2002) (Figure 14).

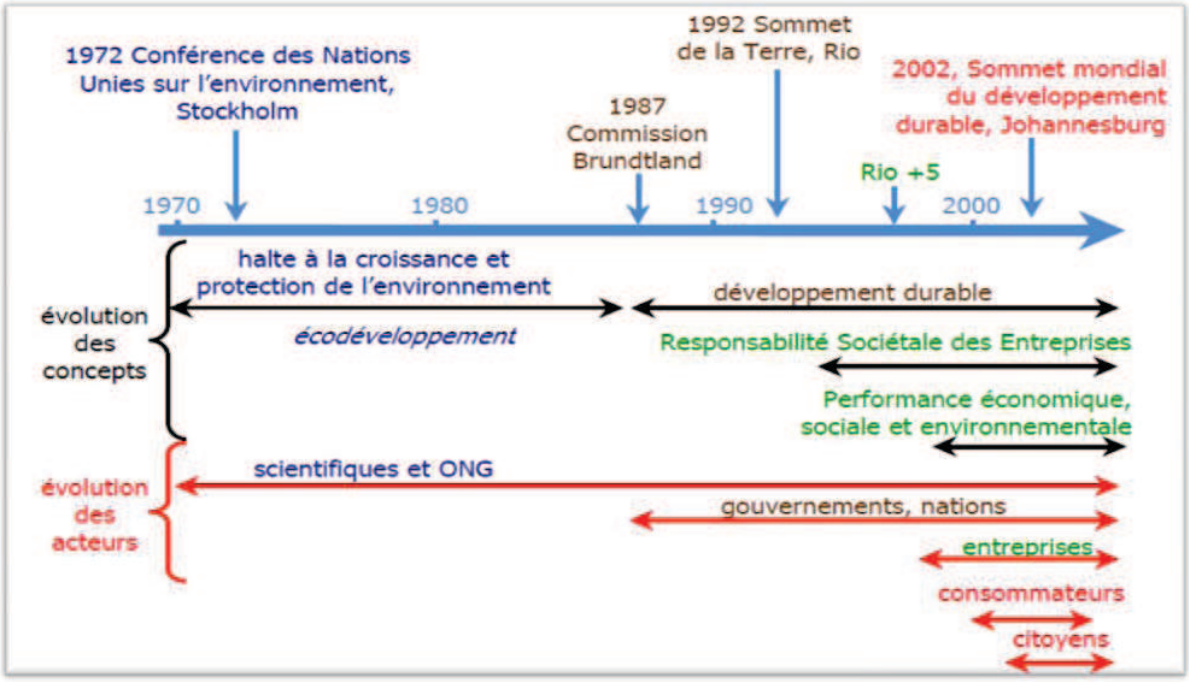


Figure 14. Evolution des concepts et de l'implication des acteurs dans le développement durable (Delchet, 2004)

4.1.2. Dimensions

Aujourd'hui la notion de développement durable est mise en œuvre non seulement pour trouver des solutions aux problèmes environnementaux, mais aussi pour répondre aux attentes de la société en matière de développement social et économique. En effet, cette notion traite différents problèmes

complexes et souvent difficiles à cerner et à résoudre: lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire, changement des habitudes de consommation, maîtrise de la croissance démographique mondiale, conservation de l'environnement avec toutes ses ressources naturelles, protection de la santé humaine, etc. Certains chercheurs et spécialistes considèrent le secteur économique comme étant un aspect incontournable de la durabilité en milieu agricole. Un développement agricole mal planifié sur le plan économique peut se faire au détriment de la durabilité de l'ensemble des trois aspects (économique, social et environnemental) à long terme. Pour ces chercheurs et spécialistes, l'application de pratiques agricoles de conservation des sols ne peut être durable que si les nouvelles méthodes sont viables économiquement (Larochelle, 2011).

L'être humain fait partie également des principales préoccupations du développement durable: « *Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature* », Déclaration de Rio en 1992 (DiBlasio Brochard, 2011). La question de durabilité sociale est relativement nouvelle. Or, la conceptualisation de la dimension sociale l'empêche de jouer son rôle structurant dans le processus de durabilité. En effet, cette dimension se limite souvent aux aspects d'équité et de lutte contre l'exclusion sociale alors que la notion du "social" dans le développement durable renvoie aux modes de cohabitation, de coexistence et d'organisation collective de la société dans les territoires (Parra, Moulaert, 2011).

La définition du développement durable est traduite par un schéma classique constitué de trois cercles symbolisant trois piliers ou dimensions, à savoir l'environnement écologique, économique et social (Figure 15). Ces trois cercles, qui possèdent la même importance, sont interconnectés et interagissent au même niveau. Des effets de l'activité économique peuvent être observés sur l'environnement écologique (utilisation des ressources, rejets de polluants et de déchets...). L'activité économique peut également agir sur la société (niveaux de revenu, équité...). L'environnement écologique peut apporter des services à l'économie comme par exemple les contributions à l'efficience économique et à l'emploi, mais aussi à la société (accès aux ressources, contributions à la santé et aux conditions de vie et de travail...), etc. Le développement durable, à proprement parler, se situe à l'intersection des trois cercles: il est censé être à la fois équitable, viable et vivable. En effet, ce concept vise la mise en place des politiques qui soient à la fois économiquement viables en assurant un usage efficace des ressources et une production suffisante de richesses pour satisfaire les besoins de la population; socialement équitables en réduisant les inégalités sociales en termes de chances et préoccupations éthiques et écologiquement vivables en évitant la dégradation de l'environnement (paysages, ressources, biodiversité, etc.) (DiBlasio Brochard, 2011).

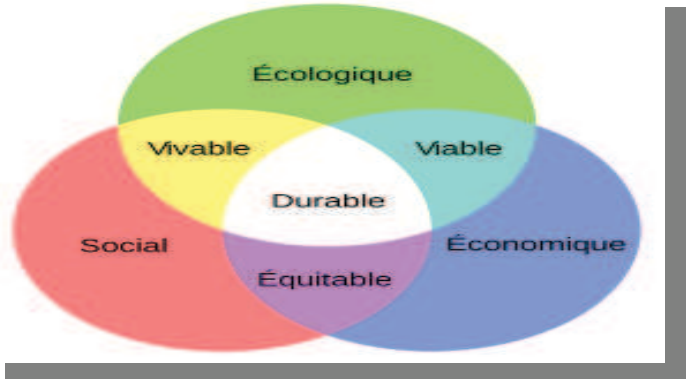


Figure 15. Les trois piliers du développement durable (Terrier, 2009)

D'après les auteurs du rapport *Brundtland,* le développement durable repose sur une quatrième dimension transversale: la dimension éthique de justice ou de solidarité inter-générationnelle, c'est à dire entre générations présentes et futures. En effet, ces auteurs insistent sur la notion de besoins et la nécessité de limiter, voire de supprimer, les charges imposées à l'environnement par les sociétés (Brunel, 2012; Hertig, 2011). Le concept de développement durable est donc basé sur le respect des équilibres écologiques et socioéconomiques, et particulièrement sur la valeur de solidarité entre les groupes sociaux (Da Cunha, Ruegg, 2003) (Figure 16).

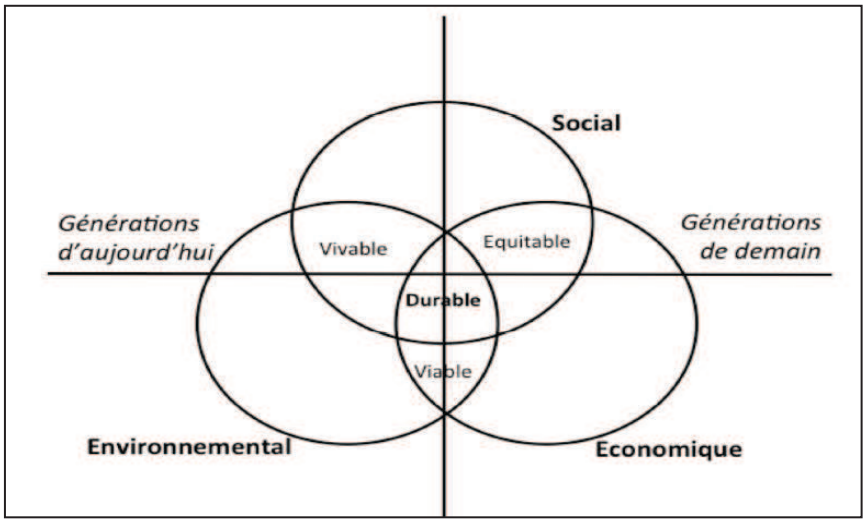


Figure 16. Le concept du développement durable (Hertig, 2011)

Aux trois cercles s'ajoutent deux axes qui représentent les dimensions de la justice ou solidarité intra- et intergénérationnelle. La solidarité intergénérationnelle est traduite par l'axe horizontal, alors que l'axe vertical symbolise la solidarité intra-générationnelle.

L'idée générale du développement durable est donc de conserver dans le temps les capitaux financier, naturel et humain afin de maintenir un niveau constant de bien-être pour les populations humaines. Or, si les objectifs de ce concept font l'objet d'un relatif consensus, c'est sa mise en œuvre qui reste source d'interprétations et d'oppositions. En effet, l'une des questions posées par le terme de « développement durable » est de savoir ce que l'on entend par « durable ». La réponse à cette question est fonction des modalités de conservation des capitaux. Des conceptions distinctes de la durabilité ont ainsi vu le jour.

4.2. Durabilité : élément fondamental du développement durable

La durabilité fournit un modèle de réflexion sur l'avenir qui met en balance les considérations écologiques, sociales et économiques dans une perspective de développement et d'amélioration de la qualité de la vie. Ces considérations sont complexes et interdépendants. En effet, la mise en place des moyens pour sauvegarder les fonctions sociale et environnementale est nécessaire pour le renforcement de la durabilité économique. La diversification des activités économiques, le développement des services et des produits locaux, ainsi que la création d'emplois agissent positivement sur la durabilité sociale, etc. Mais dans certains cas, les objectifs écologiques, sociaux et économiques peuvent se concurrencer entre eux. Dans ce cas, il faut juste trouver l'équilibre entre les trois. Cela implique que le choix d'un de ces trois objectifs doit au moins assurer le respect de normes minimales bien définies des deux autres (Commission Européenne, 2001; Weber, 2013).

La durabilité est généralement considérée comme un objectif à long terme, celui d'un monde plus durable, plus viable alors que le développement durable désigne les différentes manières et voies pour y parvenir. D'après la Commission Européenne (2001), le principe de la durabilité est le maintien d'un certain niveau de stocks de capital (ressources naturelles, ressources humaines et ressources créées par l'homme). La notion de la durabilité englobe, notamment, deux autres concepts: l'efficience et l'équité entre les générations.

4.2.1. Stocks de capital

Le modèle du stock de capital[24] a été mis au point par la Banque mondiale en 1994. Selon ce modèle, l'environnement, l'économie et la société constituent les trois stocks de capital, et leur somme représente le capital de durabilité. Dans un concept de durabilité, la nature est considérée comme un stock de capital à gérer d'une façon optimale en évitant sa surexploitation et/ou sa dégradation. Le principe du développement durable est respecté lorsqu'il est possible de vivre à long terme des intérêts sans achever ce capital. Assurer donc le développement durable, c'est faire en sorte qu'un certain niveau de stock de ressources et de richesses puisse durer au fil du temps, et que ces ressources soient disponibles pour la production et la consommation. Cette conception conduit à la distinction de deux types de durabilité forte ou faible (Godard, 1994).

La conception de la durabilité *faible* a marqué la première étape. Cette durabilité place l'économie au centre des préoccupations en accordant une attitude indifférente à l'égard de la composition des richesses transmises (Lourdel, 2005). Les richesses n'ont de valeur que par les services qu'elles fournissent, et non pour ce qu'elles sont. Dans cette durabilité, les différentes formes de stocks de capital peuvent se substituer l'une à l'autre. Il suffit donc de remplacer les richesses naturelles consommées par des éléments du capital fabriqué par l'être humain. Cette durabilité favorise systématiquement le bien-être humain dans toute situation concrète d'arbitrage (Brodhag *et al.*, 2004; Commission Européenne, 2001; Landais, 1998; Mancebo, 2009). Dans cette approche, le développement est donc associé particulièrement à la croissance économique (Godard, Salles, 1991) (Figure 17).

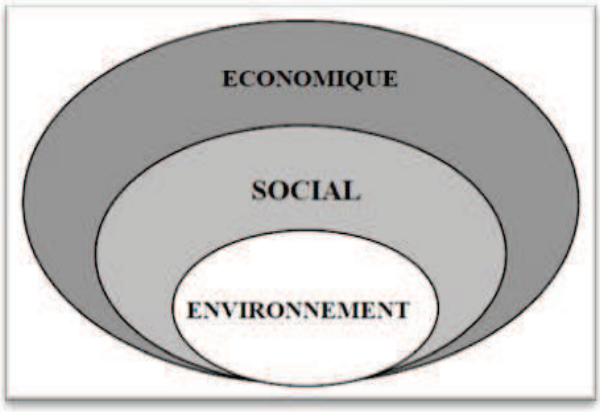


Figure 17. L'approche de durabilité faible (Boutaud, 2002)

[24] Un modèle précédent dit "des 5 capitaux" est aussi utilisé. Il prend en compte le capital naturel, le capital humain (comprenant l'éducation et la santé), le capital social (comprenant les réseaux sociaux et les institutions), le capital financier et le capital produit (machineries, infrastructures).

En revanche, la durabilité entre différentes formes de richesse pourrait être limitée dans certains cas. Les richesses naturelles ne peuvent être remplacées ou substituées alors qu'elles sont indispensables à la survie humaine et animale, elles constituent donc le capital naturel critique. Dans ce cas on ne parle plus d'une durabilité faible, mais plutôt d'une durabilité *forte* ou "approche écocentrée" qui a marqué une seconde étape. Cette durabilité considère que les changements entrainés par l'utilisation des ressources naturelles peuvent conduire à des irréversibilités graves. Le principe de précaution est alors conseillé vu la fragilité et l'instabilité des équilibres des systèmes naturels. Elle exige la conservation du capital total et du capital naturel critique en accordant donc la supériorité à l'environnement (Faucheux, O'Connor, 1998; Godard, Salles, 1991; Landais, 1998; Mancebo, 2009) (Figure 18). La détermination du niveau critique de capital naturel à préserver n'est pas facile, elle dépend des changements technologiques qui peuvent modifier à tout moment le degré de substituabilité entre les ressources et le niveau de bien-être. Il est également difficile de prévoir les usages potentiels d'une quantité donnée de ressources. Pour cela, il ne faut pas penser seulement à la valeur d'usage actuelle des ressources naturelles, mais également à leur valeur d'usage pour les générations futures (OCDE, 1995).

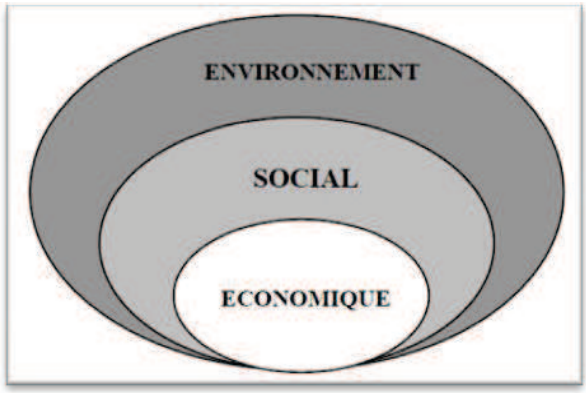


Figure 18. L'approche de durabilité forte (Boutaud, 2002)

La dimension humaine ou sociale est considérée comme élément prioritaire pour le développement durable (Lourdel, 2005). Or, l'union de l'efficacité économique et de la précaution écologique est fréquemment étudiée sans traiter la dimension sociale. D'où, l'apparition de l'approche *socio-centrée* du développement durable qui favorise la dimension sociale (Sébastien, Brodhag, 2004) (Figure 19).

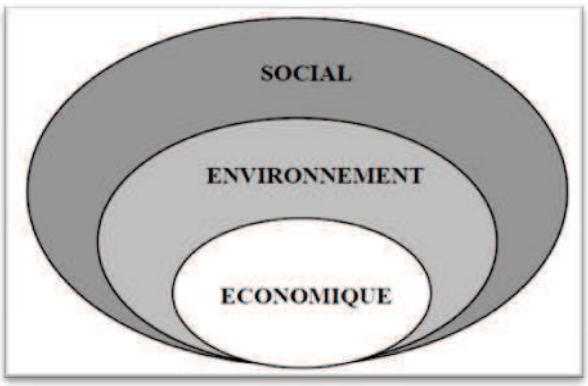


Figure 19. L'approche socio-centrée du développement durable (Sébastien, Brodhag, 2004)

4.2.2. L'efficience

L'efficience met en évidence l'aspect dynamique de la durabilité (Legg, 1999). En effet, les ressources sont rares et certaines d'entre elles ne sont pas substituables, par conséquent elles doivent être combinées de telle manière que le bien-être puisse être maximisé (Commission Européenne, 2001). L'objectif est de fixer une allocation *intragénérationelle* de ressources optimales, mais il n'est pas facile de déterminer cette allocation car les mécanismes permettant de tenir compte de la valeur des ressources sont souvent imparfaits à cause des marchés. En outre, un résultat ou une décision peut être efficace d'un point de vue individuel mais inefficient du point de vue de la société. Au moment de la prise de décisions, le producteur par exemple ne tient pas compte du coût total de la dégradation de l'environnement ou des avantages résultant de la fourniture de certains services environnementaux, ce qui va donc influencer les effets de sa décision sur la société (OCDE, 1995). Il est encore plus difficile de fixer une allocation *intergénérationnelle* de ressources optimales et d'arriver donc à une efficience intergénérationnelle, car cela dépend de plusieurs facteurs (l'évolution de la demande dans le futur, la présence des produits de remplacement ou des progrès techniques, etc.). Dans ce cas, il faut juste corriger les déficiences actuelles en matière d'efficience et mettre en œuvre certaines mesures de protection fondées sur les hypothèses quant aux besoins futurs (Commission Européenne, 2001).

4.2.3. L'équité

L'efficience dans l'allocation est une condition nécessaire de la durabilité mais non suffisante, il faut également faire en sorte que la répartition des gains de l'allocation soit juste et équitable. En effet, même si les ressources sont allouées d'une manière efficiente pour générer un bien-être total maximal, des déséquilibres pourraient avoir lieu lors de la répartition des avantages et de leurs coûts au sein de la même génération ou entre la génération actuelle et la génération future. Les ressources doivent être allouées de telle sorte que le bien-être généré aujourd'hui ne désavantage pas le bien-être futur: *« Le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures »*, Déclaration de Rio en 1992. De plus, tous les membres de la même société doivent avoir accès aux ressources qui leur permettent d'obtenir un niveau de bien-être supérieur à un certain minimum établi par la société (Commission Européenne, 2001; DiBlasio Brochard, 2011).

Le monde agricole s'est fondamentalement transformé depuis l'après-guerre. Il est désormais intégré dans un système mondialisé et doit, en se basant sur les objectifs et les principes du développement durable, faire face à des défis majeurs. Il doit assurer une sécurité alimentaire grâce à une production agricole adéquate quantitativement et qualitativement. Il doit préserver la santé des agriculteurs, des salariés que celle des consommateurs. La rentabilité, la transmissibilité des exploitations agricoles, l'accès équitable aux ressources et la disparition de la pauvreté doivent également être garanties. L'agriculture doit être à la mesure de la protection des écosystèmes (sols, milieux aquatiques…) et de la restauration de leurs fonctionnalités. Il faut qu'elle contribue au dynamisme des territoires par la préservation voire l'amélioration des paysages et la création d'emplois. La lutte contre le réchauffement climatique et la diminution autant que possible des émissions de gaz à effet de serre sont aussi des problèmes à résoudre.

Cependant, les formes d'agricultures basées sur l'utilisation des produits de synthèse pratiquées jusqu'à présent dans le monde entier sont dénoncées pour leurs atteintes à l'environnement et à la santé humaine. Elles n'offrent pas le terrain convenable pour faire face aux problèmes et atteindre les

objectifs du développement durable. En effet, afin de rester compétitifs dans la concurrence mondiale, nombreux agriculteurs ont intensifié et mécanisé exagérément leurs systèmes de production agricole, de façon à produire massivement des produits standards. Cette intensification permet la fragilisation des agroécosystèmes et l'obtention de nombreuses externalités négatives. Aujourd'hui, il faut mettre fin de toute urgence à la dégradation de l'environnement et à l'épuisement de la biodiversité. Il faut assurer un environnement durable particulièrement lié à l'agriculture. Par conséquent, il faut envisager et mettre en œuvre une agriculture « plus durable » qui s'insère parfaitement dans le concept du développement durable et l'objectif de la durabilité.

Pour être plus durable, le développement agricole a besoin de recherches fondamentales basées non seulement sur les expérimentations, mais aussi sur les innovations des agriculteurs. Pour atteindre la durabilité au niveau des systèmes de production agricole, il faut prendre davantage en considération les interactions entre processus biochimiques au sein des agroécosystèmes (écosystèmes aménagés par les agriculteurs), le fonctionnement de ces derniers et expliquer les effets des différentes techniques pratiquées sur les performances environnementales, sociales et économiques. L'élaboration des modèles prédictifs, visant la mise en évidence des effets probables des nouvelles pratiques mises en œuvre sur le devenir des écosystèmes et leurs potentialités productives, peut aussi constituer un levier pour la durabilité du développement agricole (Dufumier, 2010). Les enjeux de durabilité conduisent alors à une révision des modes de production agricole. Les agroécosystèmes doivent garantir non seulement une fonction de production mais aussi un ensemble de services écologiques (préservation de la ressource en eau, contrôle des ravageurs, etc.) et sociaux (maintien d'un tissu rural, emploi, équité, etc. (Dale, Polasky, 2007). L'objectif est de mettre en place une agriculture centrée sur l'homme, la nature et le territoire, qui permet d'assurer une bonne gestion des ressources naturelles et de respecter la dignité humaine ainsi que l'équilibre de l'environnement. Dans ce contexte, les systèmes de production inspirés des principes de l'agroécologie peuvent donc constituer une bonne alternative et une réponse adaptée aux enjeux environnementaux, sociaux et économiques. Ces systèmes de production sont considérés comme des modèles d'agriculture durables.

4.3. Agroécologie : modèle d'agriculture durable

L'approche agroécologique permet la transition de l'agriculture vers la durabilité par la mise en place des systèmes alimentaires plus durables en conjuguant production agricole et reproduction des ressources naturelles. Mais au-delà des aspects liés à la production agricole, cette approche permet de reconsidérer les dynamiques territoriales et les liens entre les différents acteurs sociaux. Une agriculture basée sur des principes et des pratiques agroécologiques est donc une agriculture durable. Mais qu'entend-on précisément par agriculture durable ? Pourquoi l'agroécologie est-elle la plus conforme aux exigences du développement durable ? Comment ce mode de production peut assurer les principes de la durabilité des systèmes agricoles ?

Des travaux sur l'agriculture durable montrent que ce concept précède l'institutionnalisation du concept de développement durable tel que formalisé dans le rapport *Brundtland* (1987). Le rapport des travaux de l'ICSU (International Council of Scientific Unions), pour la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement déroulée en 1992, souligne la diversité et l'incohérence des définitions et recommandations concernant l'agriculture durable: « *Il n'est d'aucune pertinence de proposer des systèmes de production censés s'appliquer de manière durable dans tous les milieux écologiques, dans toutes les régions et dans toutes les sociétés. Aucun système spécifique ne peut convenir durablement à toutes les situations*» (CASAFA, 1991).

Pour Gips (1988) l'agriculture durable est *« une agriculture écologiquement saine, économiquement viable, socialement juste et humaine ».* Harwood (1990) a gardé les mêmes principes en la considérant comme *«une agriculture qui évolue indéfiniment vers une utilité humaine plus grande, une utilisation plus efficace des ressources, tout en respectant un équilibre avec l'environnement, qui soit favorable aux hommes comme aux autres espèces ».*

Certains auteurs, comme Hansen (1996), relèvent une lecture typologique pour définir le concept évolutif d'agriculture durable. Cet auteur a apporté des points essentiels pour comprendre le caractère socialement construit de l'agriculture durable en développant ses différentes interprétations à partir de leurs origines historiques et idéologiques. Il classe les différentes définitions de l'agriculture durable en quatre catégories: une alternative idéologique à l'agriculture conventionnelle; une combinaison de stratégies essentiellement associées à la gestion des intrants; une combinaison d'objectifs multiples et une capacité à continuer d'exister. L'analyse des définitions associées à ces quatre catégories montre que la définition d'une agriculture durable n'est pas homogène. Cette hétérogénéité est due à la pluralité épistémologique du concept de développement durable et aux différents principes normatifs sous-jacents au concept d'agriculture durable. Le principe de préservation et d'amélioration des ressources naturelles est présent dans toutes les définitions alors que d'autres comme l'équité, la justice sociale, l'éthique et la responsabilité globale ne sont pas systématiquement présents (Zahm *et al.*, 2015).

L'agroécologie associe des méthodes de recherche et des pratiques agricoles qui sont prometteuses pour l'avancée et l'évaluation de quatre principes de l'agriculture durable sur le long terme, à savoir la productivité agricole, la durabilité, la résilience et l'équité. Une agriculture qui assure ces quatre principes est une agriculture multifonctionnelle. En effet, pour qu'elle soit durable, l'agriculture doit avoir une certaine multifonctionnalité (OCDE, 2001b). Dans ce sens, l'agroécologie est considérée comme un mode de production multifonctionnel qui assure non seulement la production agricole mais aussi d'autres fonctions environnementales et socio-économiques.

La fonction principale de l'agriculture est de fournir des produits alimentaires et de matières premières (Commission Européenne, 2000a, 2000b). On croit souvent que les systèmes de production basés sur les techniques agroécologiques sont nécessairement moins productifs que les systèmes conventionnels à haut niveau d'intrants, mais cette idée reçue n'est pas fondée. Les agriculteurs qui ont adopté des méthodes agroécologiques ont des rendements équivalents et parfois plus élevés par unité de surface que ceux qui utilisent des méthodes conventionnelles. Du point de vue strictement technique, l'agroécologie est capable d'accroître le rendement à l'hectare en utilisant des ressources naturelles renouvelables (énergie lumineuse, azote de l'air, eaux pluviales, etc.) et en limitant le recours à des ressources non renouvelables (énergie fossile, eaux souterraines, etc.) ainsi qu'aux intrants (engrais minéraux et organiques, produits phytosanitaires, etc.). En effet, l'association de diverses espèces et variétés dans une même parcelle, l'intégration des légumineuses dans les rotations, la couverture maximale des sols, le recours aux déjections animales pour la fabrication du fumier et des composts destinés à la fertilisation des sols, l'implantation des haies, des arbres isolées ou autres, l'association de l'élevage à l'agriculture, etc. sont toutes des pratiques agroécologiques qui permettent d'accroitre la production à l'hectare sans coût majeur en énergie fossile ni usage massif d'engrais et de pesticides (Altieri, 1986; Dufumier, 2009).

La durabilité de l'agriculture doit être assurée sur les plans écologique ou environnemental, social et économique. Sur le plan écologique, le développement de pratiques agricoles qui soient à la fois plus productives et plus respectueuses de l'environnement et de la santé humaine paraît bien plus facile dans les exploitations agroécologiques (Dufumier, 2010). Chaque site agricole est constitué d'un ensemble d'entités paysagères et environnementales bien spécifiques. Cette spécificité est due au façonnement négatif ou positif de ces entités par l'agriculture. L'agriculture durable est appelée à conserver les ressources naturelles, à lutter contre leur dégradation, à préserver la biodiversité, les services qui y sont associés, à améliorer la fertilité des sols, à éviter leur érosion, leur compaction et leur salinisation, et à contribuer à l'équilibre écologique du territoire. Tous ces objectifs peuvent être réalisés par la pratique agroécologique. En effet, elle peut limiter la surexploitation et la pollution des ressources naturelles, maintenir les intérêts écologiques et préserver les paysages en utilisant des techniques basées sur les fonctionnements du sol et des systèmes vivants: la mise en place des espaces semi-naturels, des prairies permanentes, des haies, des mares, etc. sur les exploitations agricoles et des bandes tampons enherbées le long des cours d'eau afin d'attirer les auxiliaires des cultures, de diversifier la mosaïque paysagère et de limiter le transfert des polluants vers les nappes phréatiques et les cours d'eaux; le recours à des méthodes biologiques comme la lutte biologique pour remplacer les pesticides chimiques; la couverture permanente du sol, l'utilisation du compost organique, etc. afin d'améliorer la structure du sol et de freiner le phénomène d'érosion, etc.

L'agroécologie a une ambition sociale en essayant de donner une autre place aux agriculteurs et d'accorder plus d'importance à leurs activités en valorisant leurs connaissances et savoir-faire locaux et en les faisant participer à des projets de recherche innovants et à la prise de décisions. Plusieurs personnes ne font plus le lien entre les paysages, l'activité agricole, les agriculteurs et la nourriture qu'elles consomment. Une perte de lien entre la ville et le mode rural est alors de plus en plus remarquée de nos jours. Face à cela, les agriculteurs se sentent généralement caricaturés en pollueurs ou en jardiniers de la nature, ce qui ne correspond pas à leur réalité quotidienne (CESE, 2016). L'agroécologie vise l'amélioration des conditions de vie des agriculteurs et reconsidère la notion de productivité du travail. En effet, les systèmes agroécologiques exigent un travail plus intense que les systèmes agricoles conventionnels et peuvent donc être à l'origine de la création de nombreux emplois. Ces emplois permettraient de revitaliser le monde rural souffrant d'un exode de plus en plus excessif et de faire disparaitre le manque de perspective dans l'agriculture. L'approche agroécologique garantie également une meilleure santé humaine et une meilleure alimentation en limitant les maladies et en offrant des produits plus diversifiés, plus sains et plus nutritifs. Elle est alors susceptible de réduire les coûts sociaux liés à la santé (Dufumier, 2010; Lasbleiz, Stokkink, 2015).

L'agriculture est l'activité économique principale dans les zones éloignées et périphériques. Or, la mise en place des systèmes de production agroécologique participe à la stabilité de cette activité et au maintien des revenus des agriculteurs. En effet, des actions comme la vente directe et la transformation des produits sur l'exploitation, la diversification des produits agricoles, la réduction de la dépendance vis-à-vis les achats d'intrants, etc. peuvent générer des revenus supplémentaires pour l'agriculteur, augmenter sa valeur ajoutée et réduire sa vulnérabilité aux variations de prix. En outre, la suppression de l'utilisation des produits phytosanitaires, la mise en place des infrastructures agroécologiques, la fabrication de son propre compost organique, l'autoproduction d'énergie et de semences, la réduction ou l'absence du travail du sol, le recours à des systèmes d'irrigation plus économiques, etc. sont toutes des pratiques agroécologiques qui permettent de réduire les coûts de production relatifs aux intrants (pesticides, engrais, semences, eau et énergie) (Altieri, 1986).

La résilience des systèmes de production agricole est l'un des éléments clés de l'agriculture durable. Dans ce contexte, un système de production basé sur l'agroécologie est considéré comme un système résilient face aux crises, qu'elles soient d'ordre naturel ou climatique (sécheresse, érosion, etc.), économique (variation des prix, fermeture des marchés, etc.) ou politique (décisions défavorables de politique agricole, etc.), en augmentant la capacité d'adaptation des agroécosystèmes et en réduisant leur vulnérabilité (Berton *et al.*, 2013). Plusieurs actions agroécologiques permettent la résilience et la sécurisation économique: diversité des cultures, conservation de la diversité des semences et des ressources génétiques locales, diminution de l'achat des intrants nécessaires à la production agricole, stockage et rétention de l'eau, etc. Les agriculteurs qui achètent leurs intrants ne sont pas à l'abri des chocs économiques qui peuvent résulter des augmentations brutales de prix. Mais ils peuvent garantir la stabilité de leurs systèmes de cultures, devenir autonomes et réduire leurs coûts de production en produisant leurs propres engrais organiques, en supprimant l'usage des pesticides et en intégrant des légumineuses dans les rotations. Afin de renforcer les processus d'adaptation des connaissances et des techniques, la résilience peut être observée aussi à l'échelle sociale par la mise en œuvre des moyens socio-culturels et politiques comme par exemple la sensibilisation à l'environnement et l'écologie, l'installation des réseaux de vulgarisation, de formation et d'appui technique ainsi que juridique aux agriculteurs et aux populations locales (Barat, 2005).

L'agroécologie défend l'équité sociale, que cela soit entre genres ou entre générations. Elle insiste sur l'importance de la transmission du savoir entre générations. Intensive en main-d'œuvre, l'agroécologie l'est aussi en connaissances. Elle repose sur l'expérimentation, les échanges entre agriculteurs et leurs savoir-faire. Elle équilibre les rapports entre les agriculteurs et les dirigeants scientifiques et politiques en créant une certaine complémentarité basée à la fois sur les savoirs et l'innovation. En construisant des formats d'organisation et de coopération entre acteurs locaux, l'agroécologie augmente l'équité sociale au sein des communautés et permet de repenser la relation avec le milieu urbain (Barat, 2005). Dans une agriculture durable, les ressources doivent être allouées d'une manière efficiente et équitable au sein de la même génération ou entre les générations. Les systèmes agricoles équitables doivent reconnaître les contributions des producteurs, même les petits, et leur donner la possibilité de recevoir les gains de leurs savoirs et de leur travail. Il est nécessaire de respecter leurs accès et droits sur les ressources naturelles dont ils dépendent telles que l'eau et la terre. Dans ce sens, l'agroécologie essaye de résoudre le problème de l'inégale répartition des ressources (terres agricoles, équipements, capital circulant, etc.) et de permettre leur accès à tous les agriculteurs d'une manière juste et équitable. En effet, les agriculteurs les plus pauvres n'ont pas souvent accès aux moyens de production (achat de pesticides, d'engrais organiques et minéraux, du carburant, etc.) qui leur permettraient de produire à haut niveau et défendre leur place dans le monde rural. Mais la pratique agroécologique pourrait être une bonne solution pour eux. En associant l'élevage aux productions végétales, ces agriculteurs peuvent fabriquer leurs propres engrais organiques à base du fumier. En utilisant des techniques de contrôle biologique, ils peuvent lutter contre les ravageurs des cultures sans avoir besoin de pesticides chimiques. La suppression du travail du sol leur permet de réduire le coût du carburant, etc. (Mazoyer, Roudart, 2002; Rawe *et al.,* 2015).

L'équité alimentaire est également un objectif commun à tous les systèmes de production durables. Un système alimentaire durable doit garantir à tout être humain le droit à une alimentation adéquate et nutritive (Gliessman, 2015). Considérée comme un modèle d'agriculture durable, l'agriculture agroécologique défend aussi l'équité alimentaire. En produisant sans utiliser des pesticides chimiques, sources de maladies, mais en ayant recours à des techniques de gestion écologiquement saines et des

processus biologiques, l'agroécologie permet d'offrir à tout être humain des produits agricoles de meilleure qualité sanitaire et nutritionnelle.

Le développement durable est un développement viable. Cette viabilité s'applique particulièrement au niveau de l'exploitation agricole car la multifonctionnalité de l'agriculture commence au niveau de cette échelle. D'où l'émergence du concept d'exploitation agricole durable. Les travaux de recherche qui s'intéressent directement à ce concept commencent à apparaitre depuis le début des années 1990 au sein d'une communauté scientifique interdisciplinaire constituée principalement d'agronomes, d'économistes, de géographes et de sociologues. Ces travaux ont pour objectif l'évaluation de la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole sans définir le concept d'exploitation agricole durable (Zahm *et al.*, 2015). Comment peut-on donc définir la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole ?

4.4. Les composantes de la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole

La plupart des travaux de recherche ne définissent pas le concept d'exploitation agricole durable, ils ne l'abordent que de façon implicite en considérant agriculture durable et exploitation durable comme un tout (Zahm *et al.*, 2015). En revanche, les travaux de Vilain (2008) et Zahm *et al.* (2007b) tiennent compte du concept d'exploitation agricole durable de façon explicite en retenant la définition de Landais (1998): *« une exploitation agricole est qualifiée durable si elle est viable, vivable, transmissible et reproductible* ».

4.4.1. Viabilité de l'exploitation agricole

La viabilité dépend du niveau moyen de revenu de la production. Autrement dit, la durabilité de l'exploitation dépend de la sécurisation à long terme de chaque source de revenus. Pour cela, même les revenus liés aux activités non agricoles sont pris en considération. Il existe deux niveaux de sécurisation pour les revenus de la production (Landais, 1998). D'abord, il y a la sécurisation du système de production qui dépend d'un ensemble de caractéristiques: ses performances technico-économiques, son autonomie, sa diversification, sa souplesse et sa vulnérabilité aux différents types d'aléas. Ces caractéristiques sont liées entre elles. Par exemple, les systèmes autonomes et diversifiés sont généralement considérés comme les systèmes les plus souples et les moins sensibles aux changements. Ensuite, la sécurisation des débouchés et des prix qui renvoie à la négociation, avec les participants de la filière, sur la définition de la qualité des produits et l'indépendance des producteurs.

4.4.2. Vivabilité de l'exploitation agricole

La vivabilité traduit la qualité de vie du producteur et de sa famille. Elle dépend de deux catégories de facteurs. Les facteurs *endogènes* sont propres au système famille-exploitation. Ils expriment les capacités des individus à maîtriser le fonctionnement du système de production et à assumer les risques encourus (stress, pénibilité du travail, etc.). Ces capacités varient en fonction de l'âge, de l'origine, du projet de vie et des motivations personnelles. Les facteurs *exogènes* renvoient à l'insertion du système famille-exploitation dans les réseaux professionnels locaux. Ces facteurs dépendent de l'intensité et de la qualité des relations de partenariat dans lesquelles s'engagent les agriculteurs surtout avec les autres acteurs locaux (Landais, 1998).

4.4.3. Transmissibilité de l'exploitation agricole

La transmissibilité signifie la succession de l'exploitation agricole d'une génération à une autre. Elle est fonction de la qualité des rapports sociaux et économiques du système famille-exploitation et de sa place dans la dynamique locale de développement. Plusieurs facteurs déterminent la motivation des jeunes à reprendre les exploitations agricoles familiales (l'image des métiers de l'agriculture et les valeurs qui lui sont associées, les modes de vie des agriculteurs, etc.). Cette succession est parfois compliquée. En effet, des problèmes familiaux, juridiques et financiers, qui sont aujourd'hui alourdis par l'augmentation des capitaux immobilisés, peuvent la freiner (Landais, 1998).

4.4.4. Reproductibilité de l'exploitation agricole

Quand on parle de la reproductibilité d'une exploitation agricole, on parle particulièrement de la reproductibilité environnementale qui s'intéresse surtout à la qualité écologique des effets positifs des pratiques agricoles sur l'environnement, les ressources et les milieux naturels. Généralement, l'acceptabilité sociale des systèmes de production agricole dépend de la qualité du lien écologique qui représente la relation homme-nature, donc de la reproductibilité de l'exploitation agricole (Landais, 1998).

D'après Zahm *et al.* (2015), les deux termes vivable et reproductible, cités dans la définition proposée par Landais (1998), renvoient à une dimension socioterritoriale (en relation avec la société et le territoire) de la durabilité. Mais selon ces auteurs, cette dimension ne tient pas compte des objectifs sociétaux de l'agriculture durable. C'est pourquoi ils ont proposé une nouvelle approche pour définir le concept d'exploitation durable en la qualifiant en fonction de trois caractéristiques: les valeurs, les objectifs et les propriétés associés à cette qualification: « *Une exploitation agricole durable est une exploitation agricole viable, vivable, transmissible et reproductible inscrivant son développement dans une démarche sociétalement responsable. Cette démarche renvoie au choix de l'agriculteur, quant aux effets de ses activités et de ses modes de production, sur le développement et la qualité de vie des parties prenantes ancrées sur son territoire ainsi qu'à sa contribution à des enjeux globaux sociétaux non territorialisables (lutte contre le changement climatique, sécurité alimentaire, etc.). Son développement s'appuie sur cinq propriétés: capacité productive et reproductive de biens et services, robustesse, ancrage territorial, autonomie et responsabilité globale* ».

La capacité productive et reproductive de biens et services d'une exploitation agricole correspond à sa capacité à produire et à reproduire d'une manière efficace (satisfaisante en termes de quantité et de qualité) et à long terme (préserver une production continue et stable) sans dégrader sa base de ressources naturelles et sociales. La capacité d'une exploitation agricole à s'adapter aux différentes fluctuations environnementales, sociales et économiques ainsi qu'aux perturbations externes traduit sa *robustesse. L'ancrage territorial* d'une exploitation agricole correspond à sa capacité participative dans la coproduction et la valorisation de ressources territoriales. Une exploitation est *autonome* lorsqu'elle est capable de produire des biens et des services à partir de ses propres ressources, de limiter sa dépendance aux dispositifs de régulation publique ainsi qu'aux financements extérieurs et de développer sa liberté de décision. *La responsabilité globale* d'une exploitation correspond au degré d'engagement de l'exploitant à prendre en compte les impacts environnementaux et sociaux de ses activités sur la qualité de vie territoriale et le bien-être humain et animal dans ses choix de pratiques agricoles et ses décisions. Au vu de ces éléments et suite aux explications données précédemment, une exploitation agroécologique est considérée comme une exploitation agricole durable.

Afin d'évaluer la durabilité d'une exploitation agroécologique, il est nécessaire de tenir compte non seulement de ses performances technico-économiques mais aussi de ses performances sociales et écologiques. Cette durabilité résulte des liens que l'exploitation entretient avec son environnement, au sens le plus large du terme (Figure 20).

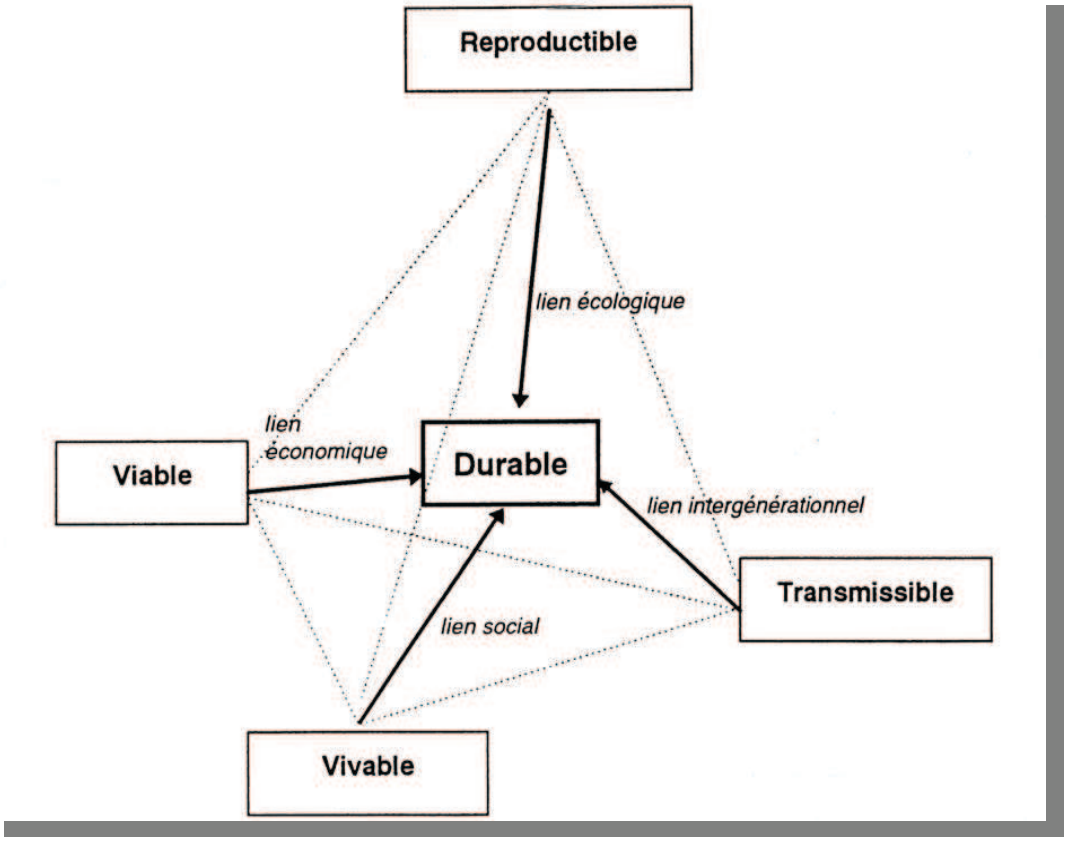


Figure 20. Les quatre piliers de la durabilité des exploitations agricoles (Landais, 1998)

Ces liens peuvent être classés en quatre catégories (Landais, 1998). Le lien *économique* traduit l'insertion de l'exploitation dans les filières économiques à travers les produits qu'elle met sur le marché. Le lien *social* renvoie à la relation entamée par les agriculteurs et leurs familles avec les réseaux principalement locaux (autres agriculteurs et acteurs). Le lien *intergénérationnel* est une dimension particulière du lien social parce qu'elle renvoie à la fois à la transmission de l'exploitation d'une génération à une autre à l'intérieur de la famille et à l'idéal de solidarité entre générations. Le lien *écologique* ou *environnemental* exprime les rapports entre les activités agricoles et les richesses naturelles afin de les conserver et de permettre leur renouvellement sur le long terme. Ces liens doivent être pris en considération lors de l'évaluation de la durabilité de l'exploitation agroécologique. Cette évaluation doit donc être faite sur les trois échelles économique, sociale et écologique à l'aide de plusieurs outils spécifiques.

Conclusion du chapitre IV

Le développement durable semble la meilleure solution lorsqu'il s'agit de croître économiquement tout en respectant notre planète. En effet, respecter l'environnement et ses richesses naturelles et ne pas bouleverser notre façon de vivre tout en assurant les besoins des générations futures est l'objectif que s'est fixé le développement durable. La durabilité est un enjeu important pour définir et mesurer le développement durable. La définition de la durabilité varie selon les auteurs. Mais la durabilité *faible* et la durabilité *forte* sont les plus discutées par les chercheurs, les experts et les politiques publiques. La *durabilité faible* précise que le capital humain peut substituer le capital naturel et qu'il est possible d'utiliser des biens naturels pour créer des biens construits par l'être humain. La *durabilité forte* fait appel à la protection du capital naturel et affirme que le capital humain ne peut pas remplacer toutes les fonctions écologiques. Le débat entre ces deux durabilités est toujours présent, même si la durabilité *forte* est considérée comme la meilleure option par un grand nombre d'experts à cause de son principe de précaution. En outre, c'est grâce au concept de durabilité que le développement durable se distingue du développement "classique". Le développement durable tient compte des limites écologiques et pense aux besoins des générations futures alors qu'auparavant ce n'était pas le cas.

L'apparition des problèmes environnementaux et sanitaires a poussé les agriculteurs à rechercher un nouvel équilibre permettant à la fois la durabilité de l'agriculture et de l'exploitation agricole. En se basant sur des enjeux environnementaux, économiques et sociaux, l'approche agroécologique s'insère parfaitement dans la durabilité. Elle prend en considération les dimensions multifonctionnelles de l'agriculture durable et permet de progresser vers plusieurs objectifs de développement durable. En s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes, les exploitations agroécologiques sont capables de répondre aux besoins alimentaires et de respecter l'environnement et la santé humaine en limitant leur dépendance, en renforçant leur autonomie et leur résilience, et en produisant des produits de qualité. En effet, dans un système de production agroécologique, l'agriculteur veut accroitre la productivité physique et la diversité biologique de son exploitation tout en maintenant un équilibre avec ses objectifs de production et son environnement, c'est-à-dire sans occasionner de perturbations qui peuvent dégrader la santé humaine, les ressources naturelles, la biodiversité, le climat à long terme, etc. Pour qu'une exploitation agroécologique soit durable, elle doit être à la fois viable, vivable, transmissible et reproductible. Cette durabilité résulte des liens que l'exploitation entretient avec son environnement, à savoir le lien économique, le lien social et le lien écologique ou environnemental. Ces liens doivent être pris en considération lors de l'évaluation de la durabilité de l'exploitation agroécologique. Cette évaluation doit donc être faite sur les trois échelles économique, sociale et écologique à l'aide de plusieurs outils spécifiques.

CHAPITRE V : EVALUATION DE LA DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES & OBJECTIFS ET ORIGINALITE DE LA RECHERCHE

Les exploitations agricoles durables se positionnent dans une démarche globale qui intègre l'environnement, le social et l'économie. Elles tentent d'atteindre les objectifs du Grenelle: diminuer voire supprimer l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques en apportant un bénéfice à l'environnement et au bien-être (humain et animal). La durabilité au sein des systèmes agricoles est largement discutée et considérée dans les enceintes internationales comme essentielle pour la transition vers le développement durable au niveau mondial (OECD, 1999, 2001; UNCED, 1992). La notion de durabilité est étroitement liée à la notion d'évaluation qui implique la mise en œuvre de plusieurs approches multicritères pour prendre en considération les différentes composantes. En effet, pour comprendre les stratégies des agriculteurs et mieux les conseiller, il est indispensable d'évaluer, dans les contextes socio-économiques et environnementaux les plus divers, les performances des systèmes existants ou innovants ainsi que leur progression vers une agriculture durable.

5.1. Evaluation de la durabilité des exploitations agricoles

L'évaluation de la durabilité nécessite l'élaboration d'un diagnostic des interactions traduisant les impacts négatifs et positifs des activités agricoles sur l'environnement. Un impact environnemental est le résultat de la pression exercée par les activités agricoles (fertilisation, traitement phytosanitaire…) sur les différentes thématiques environnementales (eau, air, énergie, biodiversité, etc.). Pour identifier de manière exhaustive les différentes pratiques agricoles ayant un impact sur l'environnement, une matrice d'interaction, adaptée au système de grandes cultures et mettant en relation les pratiques avec les thématiques environnementales, a été élaborée par Girardin *et al.* (1996). Elle présente en ligne les thématiques environnementales (eau, sol, air, paysage, milieux naturels, ressources naturelles et environnement social) et en colonne les différentes pratiques agricoles ayant un impact potentiel sur l'environnement regroupées en activités agricoles (Figure 21).

L'impact environnemental est l'expression de plusieurs phénomènes généralement complexes qui intègrent plusieurs facteurs (climat, pratiques, flux…), ce qui le rend difficilement mesurable. Son évaluation peut se faire par deux méthodes: la méthode *directe* en utilisant des indicateurs d'état qui décrivent l'état de l'environnement et la méthode *indirecte* en utilisant des indicateurs de pression qui explicitent la pression exercée par les activités agricoles sur l'environnement (Peschard *et al.*, 2004).

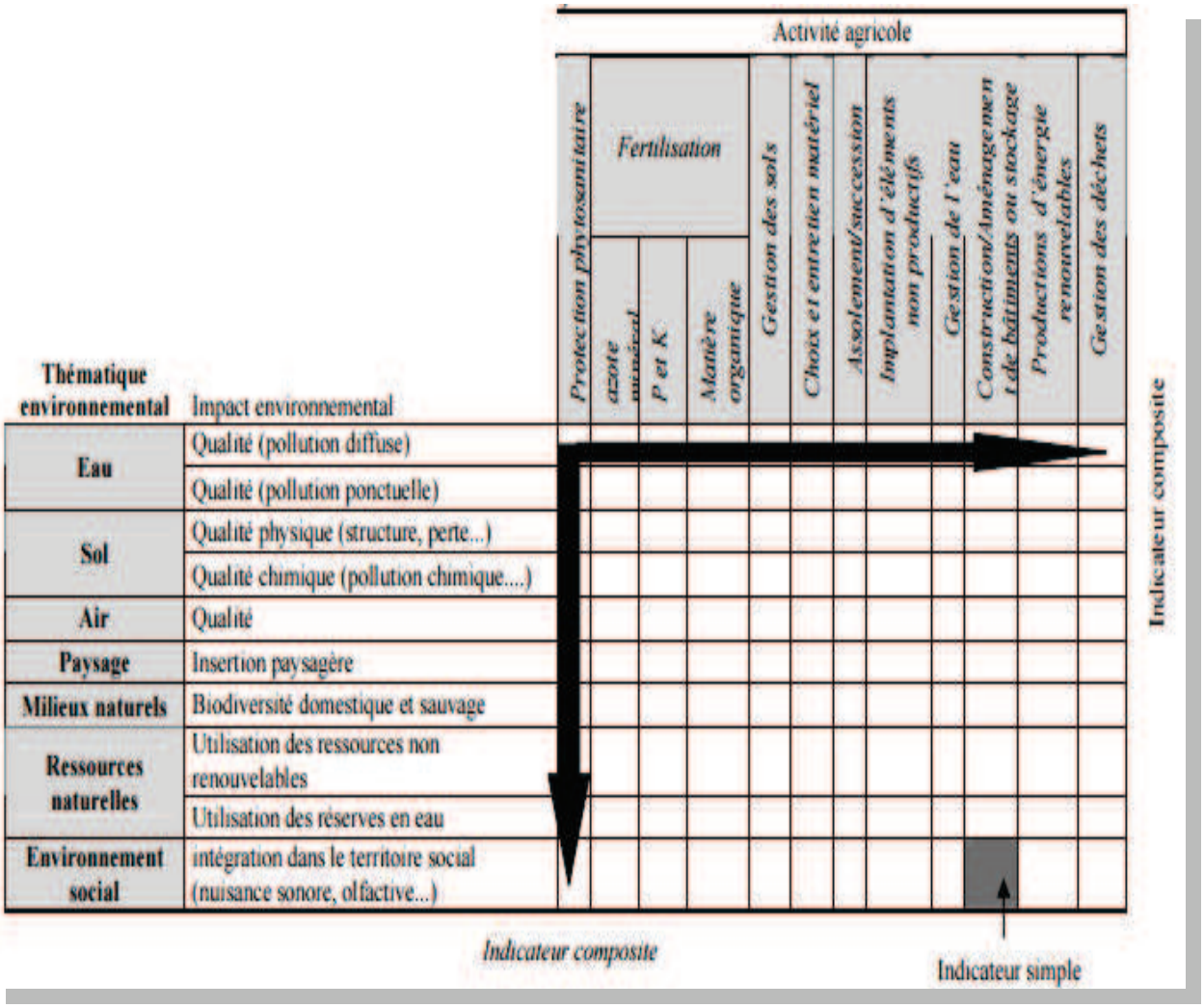


Figure 21. Matrice d'interaction adaptée au système de grandes cultures (Girardin *et al.,* 1999)

Pour qu'une évaluation de la durabilité soit pertinente elle devrait être basée sur des indicateurs et des paramètres décrivant les caractéristiques importantes des aspects environnementaux, économiques et sociaux d'un système de production agricole (Ottaviani *et al.*, 2003; Parris, Kates, 2003). Dans ce contexte, plusieurs méthodes basées sur un ensemble standard d'indicateurs portant sur ces aspects ont été développées depuis les années 90 pour évaluer la durabilité de l'agriculture au sein d'une exploitation agricole. D'après Briquel *et al.* (2001), ces méthodes doivent combiner trois dimensions. La première est systémique: il s'agit de prendre en compte simultanément les aspects économiques, environnementaux et sociaux de l'agriculture. La seconde est temporelle et spatiale: il s'agit d'évaluer des effets susceptibles de montrer leur présence dans la durée et dans l'espace. La troisième est éthique: la durabilité se fonde sur un système de valeurs et de comportements en rapport aux normes et attentes sociales.

5.1.1. Méthodes d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles

Ces méthodes permettent de situer les atouts et les faiblesses des systèmes de production afin d'y prévoir les scénarios d'intervention et d'engagement de projets et de politiques publiques nécessaires

(Navarrete *et al.*, 2012). Elles diffèrent dans leur démarche d'évaluation. Il y a des méthodes qui se basent sur un système de notation, d'autres sur des valeurs de référence et des seuils et certaines sur la programmation linéaire (Binder, Feola, 2013). Elles diffèrent également les unes des autres par l'objectif de l'évaluation, les échelles d'analyse et d'évaluation (la parcelle, l'exploitation...), les systèmes de productions évalués, la nature des données collectées, le type d'indicateurs (de pression, d'impact, simples, agrégés...), les échelles de notation, les valeurs seuils (Binder, Feola, 2013; Terrier *et al.*, 2010), le contexte d'utilisation (processus d'examen externe , approche de partenariat…) et la méthode d'agrégation de scores (Girardin *et al.,* 1999).

Chaque méthode possède ses propres hypothèses de départ et ses objectifs. Les critères d'évaluation des activités agricoles par rapport aux objectifs de durabilité se rapportent à deux champs thématiques principaux: ***i)*** les impacts agro-environnementaux qui prennent en compte les effets de l'activité agricole sur la biosphère (sol, eau, faune et flore) et sur la dégradation des ressources de milieu et ***ii)*** les impacts socio-économiques qui quantifient les performances économiques des activités agricoles classiques ou alternatives ainsi que leurs effets sur la qualité de vie, le comportement social et l'organisation économique de l'agriculteur. Ces deux champs thématiques sont abordés à différentes échelles de l'activité agricole (OCDE, 2001a). A l'échelle d'un système de culture ou au niveau parcellaire, les outils MASC DEXi (outil d'évaluation ex-ante de la durabilité des systèmes de grandes cultures) et INDIGO (Indicateurs Diagnostic Global à la parcelle) peuvent être utilisés. L'évaluation de la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes comme IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), DIALECTE (Diagnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation) et ARBRE (Arbre de l'Exploitation Agricole Durable). En revanche, aucun dispositif d'évaluation n'est encore disponible à l'échelle régionale ou du bassin versant.

D'après la littérature, il existe trois groupes de méthodes d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles. D'abord, il y a des méthodes qui permettent d'évaluer la durabilité de l'activité agricole sur les trois dimensions économique, sociale et environnementale comme les méthodes RAD (Réseau Agriculture Durable), RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation) et IDEA (Grenz *et al.*, 2009). Des méthodes à dimensions environnementale et économique, comme les méthodes DCE (Durabilité des Cultures Energétiques) et ASA (Attributs des Systèmes Agroécologiques), forment le deuxième groupe. Le troisième groupe est composé des méthodes qui s'intéressent uniquement à l'impact environnemental de l'agriculture, c'est le cas des outils DIALECTE, IDA (Indice de Durabilité de l'Agriculture), INDIGO et DIAGE (Diagnostic Global d'Exploitation) (Bekhouche-Guendouz, 2011). Ces outils d'évaluation sont utilisés régulièrement en France et à l'étranger par différents organismes de conseil en agriculture (chambres d'agriculture, centres de gestion, coopératives, etc.).

5.1.2. Exemples des méthodes d'évaluation de la durabilité

Pour ce travail de recherche, trois méthodes d'évaluation ont été choisies comme exemples: IDEA, RAD et DIALECTE. Ce choix a été fait en fonction des caractéristiques de ces trois méthodes. Toutes les trois reposent sur une évaluation quantitative de pratiques agricoles et évaluent la durabilité ex post à l'échelle de l'exploitation agricole. En revanche, certaines dissemblances sont aussi à l'origine de notre choix. Chaque méthode se caractérise par son propre système de notation. En effet, elles diffèrent non seulement par la représentation finale de la durabilité de l'exploitation agricole mais aussi par les notes attribuées selon des barèmes spécifiques. Bien qu'elle soit un peu lourde et

moyennement facile à utiliser, contrairement aux autres méthodes y compris RAD et DIALECTE, la méthode IDEA est la plus reconnue et la plus utilisée par les experts, les enseignants et les conseillers agricoles au niveau national. Comparé avec les autres outils, le RAD est adapté non seulement aux systèmes de culture mais aussi aux systèmes d'exploitations laitières. En s'intéressant uniquement à la dimension environnementale, DIALECTE permet une évaluation fine du volet agri-environnemental. Ces trois méthodes d'évaluation de la durabilité vont être testées dans la cadre de ce présent travail et les résultats de ce test font une base pour la conception de notre outil de diagnostic et d'évaluation du processus de transition agroécologique.

5.1.2.1. Méthode IDEA : Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles

Elle a été élaborée en 1996 par un groupe de travail pluridisciplinaire constitué d'agronomes, de socio-économistes et d'écologues appartenant à diverses institutions associant la DGER (Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche) du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et la Bergerie Nationale de Rambouillet. C'est une méthode à vocation pédagogique, utilisée pour le diagnostic, l'évaluation et le suivi de la durabilité par les enseignants, les formateurs et auprès des exploitants. Cet outil cherche à améliorer la cohérence générale de l'exploitation (l'adaptabilité, l'emploi, la qualité de vie, la qualité des produits, le bien-être animal, la protection des paysages, etc.), à faciliter l'auto-évaluation de la durabilité, à sensibiliser les agriculteurs à leurs choix technico-économiques et leurs comportements au sein de la société, et à proposer des voies d'amélioration vers plus de durabilité (Briquel *et al.,* 2001; Zahm *et al.,* 2004).

A l'aide de 37 indicateurs regroupés en composantes ou domaines, cette méthode évalue la durabilité sur les trois échelles agroécologique, socioterritoriale et économique (Tableau 1). Un score sur 100 est obtenu pour chaque échelle par quantification puis agrégation des notes chiffrées attribuées aux indicateurs. Le score de l'échelle le plus faible exprime le niveau de durabilité de l'exploitation agricole (Briquel *et al.*, 2001; Vilain, 2008).

L'attribution des notes se fait suite à l'évaluation de l'importance des pratiques agricoles dans les systèmes techniques et leurs impacts sur l'environnement. Au sein de chaque composante, le nombre de points attribués à chaque indicateur est compris entre les bornes zéro (même si la somme des items élémentaires est négative) et une valeur plafond ou maximale qui est propre à chaque indicateur (même si la somme de ses items élémentaires est supérieure). La note minimale zéro est attribuée même si l'exploitation n'est pas concernée par l'indicateur en question. De plus, des notes négatives peuvent être accordées à certains indicateurs fondamentaux constituant des situations critiques vis-à-vis de la durabilité (l'excès de fertilisation azotée, l'utilisation excessive de produits phytosanitaires, etc.). La plupart des indicateurs de la méthode IDEA sont des indicateurs composites, établis à partir de données quantitatives et qualitatives. Certains indicateurs, comme "diversité animale" ou "races régionales" appartenant à l'échelle agroécologique, ne concernent que les exploitations d'élevage alors que les indicateurs des deux autres échelles socioterritoriale et économique s'appliquent à tout genre d'exploitations agricoles (Briquel *et al.*, 2001; Vilain, 2008).

Tableau 1. Les indicateurs de la méthode IDEA (Briquel *et al,.* 2001)

Echelles	Composantes	Indicateurs	Notes maximales	
Agroécologique	Diversité	Diversité animale par espèce ou par race	15	Total plafonné à
		Diversité des cultures annuelles ou temporaires	15	33 unités
		Diversité des cultures pérennes	15	
		Valorisation des races régionales ou culture d'espèces rares	5	
	Organisation de l'espace	Répartition de l'assolement par culture	10	34 unités
		Dimension des parcelles	8	
		Présence de zones de régulation écologique	12	
		Présence d'actions en faveur du patrimoine naturel	2	
		Taux de chargement animal	5	
		Mode de gestion des surfaces fourragères	3	
	Pratiques agricoles	Bilan de fertilisation azotée	12	33 unités
		Traitement des effluents	4	
		Pression polluante des pesticides	12	
		Bien-être animal	3	
		Techniques de protection des sols	3	
		Irrigation	3	
		Dépendance énergétique	3	
Socioterritoriale	Qualité des produits et du territoire	Qualité des aliments produits	12	33 unités
		Valorisation du patrimoine bâti et du paysage	7	
		Accessibilité de l'espace aux utilisateurs	4	
		Implication dans des structures associatives	10	
	Emploi et services au territoire	Valorisation des produits par filières courtes	5	33 unités
		Services marchands et pluriactivité	5	
		Niveau de l'emploi dans l'exploitation	11	
		Formes de travail collectif	9	
		Pérennité prévue de l'exploitation	3	
	Ethique et développement humain	Contribution à l'équilibre alimentaire mondial	11	34 unités
		Actions de formation	7	
		Pointes de travail	7	
		Auto-estimation de la qualité de la vie	6	
		Auto-estimation de l'isolement	3	
Economique	Viabilité	Excédent net d'exploitation	20	30 unités
		Taux de spécialisation économique	10	
	Indépendance	Autonomie financière	15	25 unités
		Sensibilité aux aides directes	10	
	Transmissibilité	Capital d'exploitation	20	20 unités
	Efficience	Part des charges opérationnelles dans le produit	25	25 unités

5.1.2.2. Méthode RAD de Réseau Agriculture Durable

La création du Réseau Agriculture Durable des CIVAM (Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural) est liée à la transformation rapide de l'agriculture française et au développement d'un mouvement de contestation face aux choix politiques et scientifiques orientant l'évolution agricole. Des événements sont également à l'origine de la naissance de ce réseau, tels que l'apparition d'un mouvement associatif agricole et rural, le développement du mouvement écologiste en France, l'institutionnalisation du concept de développement durable, etc. (Flament, 2012).

En 2000, le groupe de travail de ce réseau a élaboré des indicateurs afin de mettre en place un diagnostic de durabilité basé sur l'auto-évaluation. Ce diagnostic, révisé en 2010, emprunte des concepts à d'autres méthodes, à savoir IDEA et FADEAR (Fédération Associative de Développement de l'Emploi Agricole et Rural). Le RAD est un outil pédagogique d'aide à la réflexion et de suivi, accessible à tout le monde, simple, facile, rapide à utiliser et adapté à tous les systèmes de production polyculture-élevage (Falaise, 2011). Il évalue la durabilité sur les trois échelles environnementale, sociale et économique, en s'appuyant sur 18 indicateurs (Tableau 2) notés de 0 à 5 selon des barèmes construits par des agriculteurs de l'ouest de la France. L'addition des notes dans chaque échelle fournit trois totaux reflétant la durabilité de l'exploitation. Trois radars, correspondant aux trois échelles, sont obtenus à la fin du calcul: plus la surface du radar est grande, plus l'exploitation est durable[25].

Tableau 2. Les indicateurs de la méthode RAD[26]

Echelle de durabilité	Indicateurs
Environnementale	Bilan des minéraux ou bilan apparent
	Pesticides
	Linéaire de haies
	Biodiversité
	Gestion des sols
	Dépendance énergétique
Sociale	Qualité de vie
	Viabilité socio-économique
	Transmissibilité
	Multifonctionnalité
	Contribution à l'emploi
Economique	Efficacité économique
	Autonomie
	Sensibilité à la conjoncture
	Autonomie financière
	Efficacité du capital
	Rémunération du travail
	Vulnérabilité commerciale

[25] Diagnostic de durabilité du Réseau Agriculture Durable. Guide de l'utilisateur 2010. *http://www.agriculture-durable.org/wp-content/uploads/2010/10/Guide-utilisateur-20101.pdf*
[26] *Idem*

5.1.2.3. Méthode DIALECTE: DIAgnostic Liant Environnement et Contrat Territoriaux d'Exploitation

Une première méthode d'évaluation agro-environnementale (DAE1) a été élaborée par l'association SOLAGRO[27] en 1992. Pour l'améliorer, un travail collaboratif entre cette association, la chambre régionale d'agriculture Midi-Pyrénées et l'ADVA (Association Départementale de Vulgarisation Agricole) de la Haute-Garonne a permis de développer deux nouveaux outils de diagnostic: DIALECTE en 1994 et DIALOGUE (Diagnostic Agri-environnemental Global d'Exploitation Agricole) en 2002 (Dauvergne, 2008). DIALECTE[28] est un outil de diagnostic agro-environnemental global, élaboré en dehors de toute considération économique et sociale. Il est applicable à la plupart des systèmes de production et facile à utiliser. Cet outil repose sur l'analyse quantitative de 43 indicateurs agro-environnementaux, complétée par une analyse qualitative permettant de situer l'exploitation dans son contexte historique, géographique, économique et social, et de relativiser les résultats et les informations. L'analyse quantitative est composée de deux approches: l'approche globale et l'approche thématique. La première est évaluée sur un total de 100 points en utilisant 20 indicateurs regroupés en deux domaines, à savoir mixité (70 points) et gestion des intrants (30 points) (Tableau 3). La deuxième repose sur les quatre thématiques environnementales eau, sol, biodiversité et consommation de ressources non renouvelables en utilisant 23 indicateurs (Tableau 4). Chaque thématique est évaluée sur une base maximale de 20 points à ne pas dépasser (ARVALIS, 2010a; Bekhouche-Guendouz, 2011).

Tableau 3. Les indicateurs de l'approche globale de la méthode DIALECTE (SOLAGRO, 2006)

Domaines	Indicateurs	Notes maximales
Mixité	Diversité des productions végétales	13
	Part des légumineuses	7
	Couverture du sol en hiver	10
	Diversité des productions animales	3
	Autonomie en fourrages grossiers	7
	Autonomie en concentrés	7
	Proximité de l'approvisionnement	1
	Entretien organique des sols	4
	Surface en infrastructure écologique	11
	Taille moyenne des parcelles	7
Gestion des intrants	Pression d'azote maîtrisable	2,5
	Bilan CORPEN de l'azote	4,5
	Fractionnement faible de l'azote	0,5
	Pression de phosphore maîtrisable	1,5
	Bilan CORPEN de phosphore	1,5
	Volume d'eau consommé	4
	Gestion de la ressource eau	2
	Pression phytosanitaire	7,5
	Consommation totale d'énergie	3
	Efficacité énergétique	3

[27] L'association Solagro est née en 1981 à Toulouse de la volonté d'agriculteurs, de chercheurs et de professionnels afin de favoriser l'émergence et le développement, dans plusieurs domaines (environnement, énergie, agriculture, etc.), de pratiques et de procédés participant à une gestion économe, solidaire et de long terme des ressources naturelles. *https://solagro.org*

[28] *http://dialecte.solagro.org*

Tableau 4. Les indicateurs de l'approche thématique de la méthode DIALECTE (SOLAGRO, 2006)

Thèmes	Indicateurs	Notes maximales
Eau	Rejets azotés	3
	Rejets phosphore	2
	Résidus phytosanitaires	3
	Rejets d'effluents liés à l'élevage	3
	Gestion de l'eau	3
	Couverture des sols en hiver	1,5
	Taille des parcelles	1,5
	Pourcentage de linéaires de cours d'eau protégés	1
	Protection par les éléments naturels	2
Sol	Pourcentage de surface toujours en herbe	10
	Pourcentage de prairies pluriannuelles	8
	Pourcentage de surfaces amendées en matière organique	4
	Couverture des sols en hiver	8
	Pourcentage de surfaces semées avec non labour	8
Biodiversité	Surfaces de compensation écologique	7
	Prairies productives peu fertilisées	7
	Zones d'intérêt biologique	4
	Absence ou faible utilisation de pesticides	5
Consommation de ressources	Energies directes	4
	Energies indirectes	4
	Phosphore acheté	4
	Potasse achetée	4
	Eau	4

Tous les outils, y compris IDEA, RAD et DIALECTE, constituent des outils de diagnostic, d'analyse et d'évaluation de la durabilité de l'exploitation agricole. En revanche, ces outils, abondamment développés en France, peuvent se distinguer par leurs caractéristiques. Il s'avère alors intéressant de connaître ces caractéristiques afin de bien choisir la méthode d'évaluation à utiliser.

5.1.3. Caractéristiques des méthodes d'évaluation de la durabilité

Les méthodes d'évaluation doivent être adaptées à plusieurs exigences. En effet, il est nécessaire de considérer plusieurs caractérisations de la durabilité des systèmes de production agricoles selon le contexte, les acteurs concernés, les systèmes d'action qu'ils pilotent, les demandes sociétales et les connaissances et savoirs disponibles. Pour cela, le choix des approches concernant l'échelle d'analyse, les dimensions de l'évaluation, les indicateurs et les formes de quantification et d'agrégation est essentiel. D'après Barbier, Lopez-Ridaura (2010), des analyses comparatives de différentes méthodes d'évaluation ont été réalisées afin d'identifier leurs similitudes et leurs différences. Ces analyses concernent les objectifs de l'outil, l'échelle, les dimensions et la faisabilité de l'évaluation, la nature des indicateurs, la pondération et l'agrégation. Toutes les méthodes d'évaluation obéissent à des principes similaires; elles reposent sur le choix d'indicateurs de durabilité et sur des méthodes de calcul, de pondération et d'agrégation aboutissant à attribuer des notes ou des scores. Cependant, elles se distinguent sur l'échelle d'application, sur l'importance accordée aux dimensions, composantes, voire sur les principes de la notation et/ou sur les méthodes de pondération et d'agrégation.

-*Objectifs*: tous les outils ont pour objectifs d'élaborer un diagnostic agri-environnemental et/ou socio-économique de l'exploitation agricole et d'évaluer sa durabilité par le biais d'indicateurs. Cependant, les finalités et usages du processus d'évaluation restent parfois flous. S'agit-il d'un outil d'aide à la

décision pour améliorer la durabilité des exploitations agricoles ? S'agit-il simplement d'un outil de diagnostic et d'auto-évaluation pour renforcer l'apprentissage des agriculteurs ? S'agit-il d'un outil de diagnostic et de sensibilisation aux choix techniques et économiques ? S'agit-il d'un outil de contrôle et de suivi ?, etc. (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010).

-*Echelle d'évaluation*: à l'exception des deux outils INDIGO et DIALOGUE dont le diagnostic se fait à l'échelle de la parcelle, tous les autres outils s'appliquent au niveau de l'exploitation. Le diagnostic à l'échelle de l'exploitation s'intéresse à l'activité agricole dans son ensemble: ses caractéristiques structurelles, les choix stratégiques de l'agriculteur et ses différentes actions techniques, économiques et sociales (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010).

-*Dimensions de l'évaluation*: l'évaluation de la durabilité se fait généralement sur les trois dimensions écologique ou environnementale, sociale et économique. Ces trois dimensions sont déclinées en composantes ou domaines et indicateurs qui permettent d'apprécier la performance de l'exploitation agricole. Or, parfois durant le diagnostic, ces trois dimensions ne sont pas toutes prises en compte. En effet, l'évaluation en utilisant l'une des méthodes DIAGE, DIALECTE, DIALOGUE et INDIGO est centrée sur la dimension écologique et élaborée en dehors de toute considération économique et sociale. Les méthodes IDEA, RAD et la charte d'agriculture paysanne s'intéressent à l'évaluation de la durabilité sur les trois dimensions. L'absence d'une ou deux dimensions est considérée parmi les limites de la méthode d'évaluation en question (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010).

-*Sélection d'indicateurs*: les indicateurs constituent un élément essentiel pour mesurer la durabilité des systèmes de production agricole, comparer les résultats et les communiquer aux différents acteurs. Lors de l'évaluation, chaque composante est renseignée par un ou plusieurs indicateurs permettant de lui affectée une valeur. Ces indicateurs peuvent être simples, composites ou systémiques et leur utilisation varie selon les méthodes. IDEA et DIALECTE évaluent les impacts environnementaux par étapes successives en utilisant les trois types d'indicateurs. En effet, des données brutes caractérisant les pratiques agricoles (quantités d'azote, de phytosanitaires…) sont collectées chez l'agriculteur et agrégées en indicateurs simples qui évaluent l'impact d'une pratique agricole sur une thématique environnementale. Les indicateurs simples sont agrégés à leur tour en indicateurs composites qui caractérisent l'impact d'une activité, soit un ensemble de pratiques, sur plusieurs thématiques environnementales (par exemple l'activité de fertilisation sur l'eau, l'air et le sol) ou l'impact de toutes les activités sur une thématique environnementale (par exemple la qualité de l'eau dépend des activités fertilisation, protection phytosanitaire, gestion des effluents, gestion des éléments naturels, etc.). Enfin les indicateurs composites sont agrégés en indicateurs systèmes qui permettent d'évaluer l'impact de l'exploitation agricole sur l'environnement. La méthode DIAGE n'utilise pas d'indicateurs simples et agrège directement les données brutes en indicateurs composites. Cette agrégation ne se fait pas de la même manière dans la mesure où le système d'agrégation peut être plus ou moins complexe (Peschard *et al.*, 2004).

A partir des deux champs thématiques principaux (les impacts agro-environnementaux et les impacts socio-économiques) qui sont étroitement liés aux objectifs de l'évaluation de la durabilité, trois types d'indicateurs sont distingués. Les indicateurs *économiques* essaient de mesurer la viabilité économique de l'exploitation et/ou le degré d'indépendance de l'agriculteur vis-à-vis de son système financier. Ils sont divisés en deux groupes: ceux qui ne prennent en compte que la valeur ajoutée par rapport aux intrants et ceux qui tiennent compte de toutes les charges fixes liées aux cultures ou à l'exploitation agricole (Chenoune, 2011; Richard, 2010). Les indicateurs *sociaux* contribuent à la conservation de

l'agriculture dans la région. Par exemple, deux indicateurs ont été choisis lors de l'approche méthodologique réalisée par Dantsis *et al.* (2010) pour évaluer et comparer la durabilité des systèmes agricoles de production végétale, à savoir l'âge de l'agriculteur et l'emploi agricole. D'après Richard (2010), les indicateurs sociaux peuvent être internes en reflétant le bien-être de l'agriculteur, de sa famille et des travailleurs de la ferme ou externes en décrivant le regard que la société porte sur l'exploitation agricole, et donc sur l'acceptabilité des pratiques et l'intégration de l'exploitation dans le milieu social. Les indicateurs *environnementaux* traduisent l'impact potentiel de l'activité agricole sur l'environnement (eau, sol air, paysage, etc.) en termes de quantité et de qualité (Chenoune, 2011). Cependant, les indicateurs d'impact sur l'environnement réunissant toutes les qualités attendues d'un outil d'évaluation sont rares. Certains indicateurs sont méthodologiquement faibles, soit parce qu'ils ne représentent pas ce qu'ils sont censés représenter, soit parce qu'ils sont peu opérationnels. Un impact sur l'environnement peut être défini tout d'abord par sa cible finale. Or, un indicateur qui ne considérerait que la cible ne permettrait pas de relier l'impact évalué à une quelconque source ou cause. De ce fait, la chaîne de causalités, qui va de la source à la cible finale, doit être prise en considération lors de la construction de l'indicateur environnemental (Joumard *et al.*, 2010).

Les indicateurs peuvent jouer un rôle dans le choix de l'outil d'évaluation. Les différentes méthodes se basent sur un ensemble d'indicateurs, et le choix de la meilleure méthode revient à choisir les meilleurs indicateurs qui la composent. Pour qu'il soit efficace, un indicateur doit être pertinent, fiable, sensible, simple, étroitement lié à l'objectif et validé scientifiquement (par des experts) et par les utilisateurs finaux (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010). Le calcul de ces indicateurs est souvent sujet à des sources d'erreurs provenant de la représentation des critères de l'exploitation (taille, type de sol, etc.), de l'échelle à laquelle ces indicateurs sont calculés (parcelle, exploitation, etc.), de la nature des indicateurs calculés (indicateur social, environnemental ou économique) et du type d'agrégation pour construire des indicateurs simples ou complexes (Chenoune, 2011).

-*Pondération et Agrégation*: la note finale de la durabilité peut être la plus petite, la plus grande, la moyenne de plusieurs notes, etc. mais elle doit être lisible, significative et permettre de garder un maximum d'informations. La note finale est obtenue après la pondération et l'agrégation des notes attribuées aux différentes composantes qui sont calculées à partir d'un système de notation (élaboré à dire d'experts) selon un barème préalablement défini (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010). Les outils d'évaluation n'ont pas le même barème ni la même façon d'agrégation. Selon Terrier *et al.* (2010), la note finale obtenue à partir du calcul des indicateurs dépend de la réalité scientifique et du choix des concepteurs. Les systèmes de notation et d'agrégation sont inséparables des contextes écologiques et socio-économiques pour et dans lesquels ils ont été conçues, ce qui délimite leur champ de validité.

-*Faisabilité*: vu les contraintes que l'on peut rencontrer lors de la collecte des données (données manquantes), lors de leur traitement (problèmes informatiques) ou lors de l'exécution de l'évaluation, certaines méthodes présentent certainement des limites dans leurs champs d'application. La dimension agroécologique de la méthode IDEA n'est pas adaptée à l'analyse des systèmes spécialisés maraichage et horticulture. L'outil INDIGO n'est applicable que pour les grandes cultures et certaines cultures spécialisées, et ne tient pas compte de la thématique spécifique à l'élevage lors de la procédure d'évaluation, etc. (Bekhouche-Guendouz, 2011; Briquel *et al.*, 2001).

Il est donc difficile de se limiter à l'utilisation d'une seule méthode standardisée, en considérant une seule échelle avec des critères et indicateurs choisis préalablement (Barbier, Lopez-Ridaura, 2010). De ce fait, une question peut se poser: comment pourrait-on choisir la méthode d'évaluation la plus

adaptée à ses enjeux ? D'après Le Cozler (2011), il faut poser quelques questions pour s'orienter vers le bon choix:

- ✓ Quel type d'outil voulons-nous: de diagnostic, de communication, de contrôle, etc.?
- ✓ Qui va réaliser l'évaluation (quel (s) utilisateur(s)) ?
- ✓ A qui sont destinés les résultats finaux (quel (s) bénéficiaire(s)) ?
- ✓ Quels sont les objectifs de l'évaluation ?
- ✓ Quelles sont les limites du système évalué, ses échelles spatiale et temporelle ?
- ✓ Quelles sont les contraintes budgétaires et temporelles pour l'évaluation ?
- ✓ Quelles sont les données disponibles valorisables ?

La transition vers des systèmes de production plus innovants est un objectif majeur du développement durable. Elle traduit le passage des exploitations conventionnelles à d'autres plus respectueuses de l'environnement et de la santé humaine basées sur des méthodes biologiques. L'évaluation de la durabilité et de la performance de cette transition est alors nécessaire afin de mesurer la progression de l'exploitation agricole vers cet objectif. Quels sont donc les outils d'évaluation permettant de mesurer la durabilité des performances des exploitations en transition ?

5.2. Evaluation de la durabilité des exploitations agricoles en transition agroécologique

Les méthodes d'évaluation de la durabilité agricole sont pour la plupart destinées à évaluer les performances des exploitations conventionnelles. Malgré le développement de l'agriculture biologique et les normes de production certifiables comme de «bonnes pratiques agricoles» et leur importance croissante, il existe peu d'outils capables d'évaluer la durabilité de ce genre d'agriculture (Gafsi, Favreau, 2010; Grenz *et al.*, 2009). Des chercheurs appartenant au Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt et à l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole) ont récemment élaboré l'outil de diagnostic agroécologique des exploitations qui permet d'évaluer la durabilité des exploitations biologiques et celles en transition agroécologique. Cet outil est destiné aux agriculteurs et aux conseillers agricoles qui s'interrogent sur les performances de leurs exploitations et souhaitent évoluer dans un projet agroécologique. Il permet d'estimer l'intensité "agroécologique" (forte, moyenne ou faible) de chaque pratique mise en œuvre. Les résultats de cet outil ne sont pas utilisés pour les contrôles ou l'attribution des aides, mais ils servent juste à soulever des réflexions pour faire évoluer le système de production[29].

L'évaluation de la durabilité des exploitations conventionnelles en utilisant les outils classiques se fait sur les échelles agroécologique ou environnementale, sociale et économique. Afin de répondre aux besoins du développent durable et d'être intégrée dans une approche multifonctionnelle, l'évaluation de la durabilité des exploitations en transition doit se faire sur les mêmes dimensions. Pour cela, nous supposons que les outils d'évaluation classiques existants étaient adaptés pour mesurer la performance des exploitations biologiques et celles en transition agroécologique, et que leurs différents indicateurs étaient pertinents pour ce genre d'évaluation. Les trois méthodes IDEA, DIALECTE et RAD ont donc été testées sur trois exploitations biologiques situées dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme dans la région française Auvergne-Rhône-Alpes (Tableau 5 et figure 22) afin de vérifier leur adaptabilité.

[29] Site du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt: *http://agriculture.gouv.fr/le-diagnostic-agro-ecologique-de-votre-exploitation-en-ligne*

Tableau 5. Caractéristiques de trois exploitations testées (Enquêtes de terrain 2014)

Exploitation	Département	Superficie (ha)	Système de production
1	Ardèche	6,5	Maraîchage et arboriculture
2	Ardèche	170	Grandes cultures, oliviers, vigne et porcs
3	Drôme	1,8	Arboriculture

Le choix de ces trois méthodes d'évaluation a été fait en fonction de leurs caractéristiques (Voir paragraphe 5.1.2. Exemples des méthodes d'évaluation de la durabilité). En ce qui concerne les trois exploitations biologiques, leur choix a été fondé sur les systèmes de production. L'idée était de visiter des exploitations biologiques différentes afin de collecter les données nécessaires pour pouvoir tester les trois méthodes d'évaluation. Les coordonnées de ces trois exploitations ont été récupérées dans le cadre du salon européen des techniques bio et alternatives "tech & bio" organisé le 18-19 Septembre 2013 à Valence en France.

Figure 22. Culture de la salade de l'exploitation 1, moulin à farine de l'exploitation 2 et couverture du sol entre les arbres fruitiers de l'exploitation 3 (Trabelsi, 2013)

La méthode IDEA est la première méthode testée. Le principe est de calculer les indicateurs, regroupés en composantes, de chaque échelle (agroécologique, socioterritoriale et économique) pour chaque exploitation agricole en utilisant les données collectées. Ce calcul permet d'obtenir un score par composante, à condition de ne pas dépasser son plafond prédéfini (Tableau 1, page 90). Un score sur 100 est obtenu pour chaque échelle. Ce score final correspond, en fait, à la somme des scores attribués à ses composantes. Le score de l'échelle le plus faible exprime le niveau de durabilité de l'exploitation agricole.

L'application de cette méthode a montré que pour les exploitations 1 et 2, le facteur limitant de leur durabilité est l'échelle économique puisque les scores obtenus pour cette échelle sont les plus faibles (57/100 et 34/100 respectivement). Ces exploitations sont donc peu viables économiquement. Pour l'exploitation 3, c'est l'échelle agroécologique qui constitue son point faible, et par conséquent des modifications possibles seront à envisager en priorité pour cette échelle (Figure 23). Ces résultats montrent également un déphasage des scores entre les trois échelles agroécologique, socioterritoriale et économique qui peut être justifié par les notes maximales des indicateurs: les notes maximales des indicateurs de l'échelle agroécologique sont atteintes plus facilement que pour les indicateurs des autres échelles.

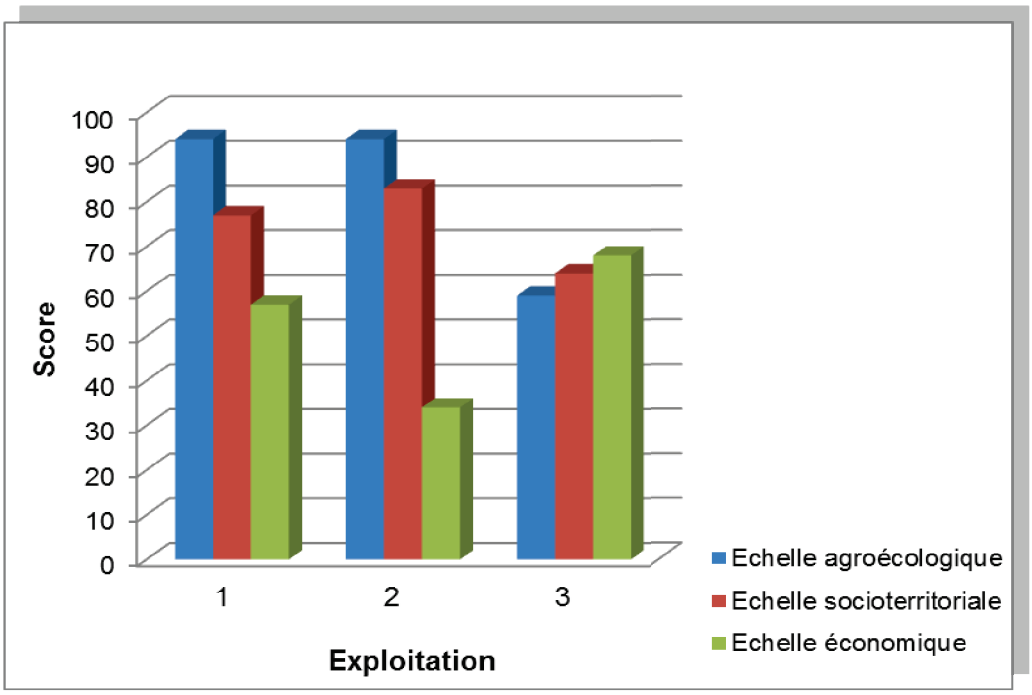


Figure 23. La durabilité de trois exploitations par la méthode IDEA (Résultats de calcul 2014)

Les données collectées ont permis de calculer les indicateurs de l'approche globale de la méthode DIALECTE. Cette approche permet de décrire la situation générale de l'exploitation agricole en termes de durabilité agri-environnementale. Par conséquent, et afin de faciliter la comparaison entre les différentes méthodes testées, le résultat de l'approche globale est considéré comme le résultat à l'échelle agroécologique ou environnementale. Le calcul des indicateurs des deux domaines mixité et gestion des intrants permet d'obtenir deux scores pour chaque exploitation: un score sur 70 pour la mixité et un autre sur 30 pour la gestion des intrants. Il faut souligner qu'il ne faut pas dépasser les notes maximales prédéfinies lors du calcul des indicateurs (Tableau 3, page 92). Pour chaque exploitation biologique, l'addition des deux scores obtenus donne une note sur 100 qui correspond à son score final exprimant sa situation globale en termes de durabilité agri-environnementale.

Les deux méthodes IDEA et DIALECTE ont donné des résultats différents au niveau agroécologique (ou environnemental). En effet, d'après les résultats de la méthode DIALECTE, l'exploitation 2 est la plus durable (62/100) alors que l'exploitation 1 occupe la dernière place (49/100) (Tableau 6). Or, la méthode IDEA a donné un classement différent où le score maximal qui a été atteint par les deux

exploitations 1 et 2 ne permet pas d'évaluer la différence de performance sur l'échelle agroécologique entre ces deux exploitations. Ces résultats s'expliquent par la différence entre les deux méthodes au niveau ***i)*** du poids des indicateurs: à titre d'exemple, l'indicateur "diversité des productions animales" utilisé dans les deux méthodes, est noté sur 15 points pour IDEA et sur 3 points pour DIALECTE, et ***ii)*** de la façon d'agréger les indicateurs.

Tableau 6. L'approche globale de trois exploitations par la méthode DIALECTE (Résultats de calcul 2014)

	Exploitation 1	**Exploitation 2**	**Exploitation 3**
Score final de l'approche globale	49/100	62/100	51/100

La méthode RAD est le dernier outil que nous avons testé. Les indicateurs des trois échelles environnementale, sociale et économique (Tableau 2, page 91) ont été calculés pour les trois exploitations biologiques en leur attribuant des notes allant de 0 à 5. Trois radars, correspondant aux trois échelles, sont alors obtenus à la fin du calcul: plus la surface du radar est grande, plus l'exploitation est durable. L'application de cet outil a abouti à des résultats inverses de ceux obtenus par la méthode IDEA. En effet, la méthode RAD montre par exemple que l'exploitation 1 est plus durable sur le plan économique, car la surface du radar pour l'échelle économique (Figure 24) est plus grande par rapport aux autres échelles (Figure 25), alors que la méthode IDEA montre que cette échelle constitue le facteur limitant de la durabilité de cette exploitation. Ces résultats sont dus à la différence de pondération des indicateurs entre les deux méthodes d'évaluation.

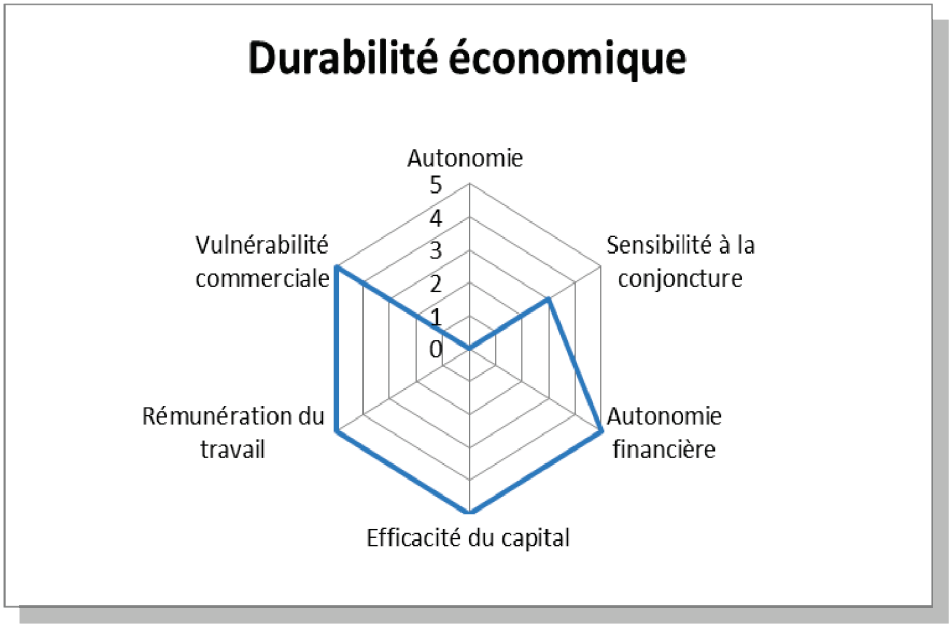


Figure 24. La durabilité économique de l'exploitation 1 par la méthode RAD (Résultats de calcul 2014)

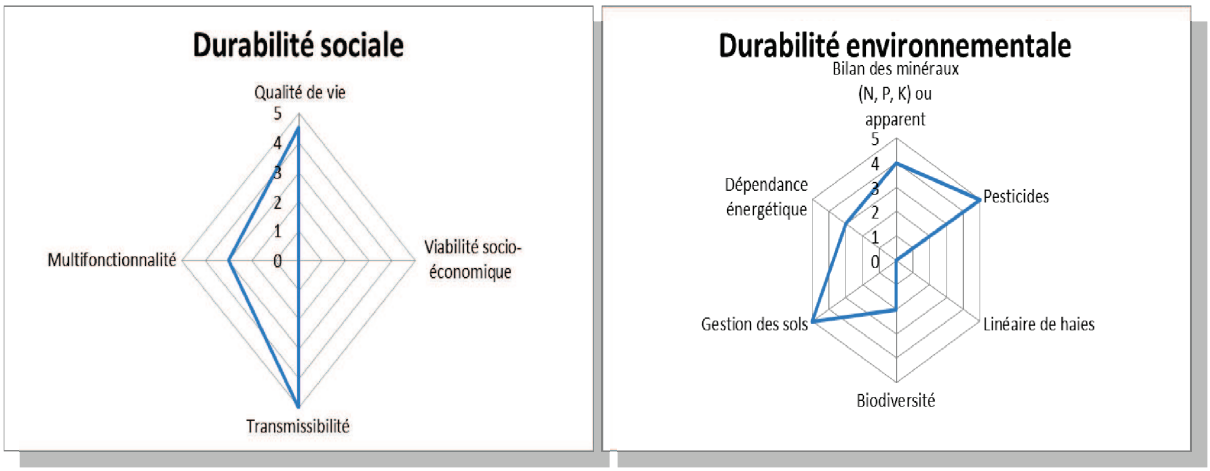


Figure 25. La durabilité sociale et environnementale de l'exploitation 1 par la méthode RAD (Résultats de calcul 2014)

Les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles conventionnelles apparaissent peu adaptées pour l'évaluation de la durabilité des exploitations biologiques et celles en transition agroécologique. En effet, l'évaluation de la durabilité de trois exploitations biologiques qui a été faite à l'aide des trois méthodes IDEA, DIALECTE et RAD a donné des résultats différents, contradictoires et peu pertinents. Ces résultats reflètent une différence au niveau du poids des indicateurs et au niveau de la façon de les agréger d'une méthode à l'autre. Pour une même échelle, nous n'avons pas obtenu le même classement des exploitations agricoles avec les trois méthodes, de même pour l'échelle économique avec les méthodes IDEA et RAD. Ces résultats reflètent également un déséquilibre dans l'évaluation effectuée sur les trois dimensions (agroécologique, socioterritoriale et économique) à l'aide de la méthode IDEA. Ce déséquilibre est dû aux poids des indicateurs qui sont différents d'une dimension à l'autre. En effet, le score maximal obtenu sur l'échelle agroécologique est vite atteint, l'utilisation d'une seule pratique biologique ou agroécologique se voyant attribuer une note élevée à l'indicateur correspondant. Cela entraine une surestimation des indicateurs de l'échelle agroécologique par rapport aux indicateurs sociaux et surtout économiques.

Dans le but de confirmer les résultats obtenus, Binder, Feola (2013) ont présenté les résultats de la comparaison de sept méthodes d'évaluation de la durabilité: IDEA, ISAP (Indicator of Sustainable Agricultural Practice), RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation), FESLM (Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management), MMF (Multiscale Methodological Framework), SAFE (Sustainability Assessment of the Farming and the Environment) et SSP (Sustainability Solution Space for Decision Making). Leur analyse montre comment les différentes approches adoptées pour évaluer la durabilité agricole ne tiennent pas compte de deux éléments, à savoir la multifonctionnalité et la multidimensionnalité de l'agriculture. La multifonctionnalité exprime le fait que l'agriculture va au-delà de la simple production de biens marchands; elle assure également d'autres fonctions présentant le caractère de biens publics non- marchands qui sont très rarement rémunérées. Par conséquent, prendre en considération la multifonctionnalité de l'agriculture suppose d'élargir l'analyse de l'activité agricole aux fonctions territoriales qu'elle peut remplir, qu'elles soient économiques, sociales ou environnementales. La multifonctionnalité renvoie aussi à l'organisation non-marchande de la production agricole à tous les niveaux, c'est-à-dire depuis l'unité de production (la parcelle) jusqu'aux politiques publiques, d'où le sens de la multidimensionnalité. D'ailleurs, la recherche sur l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles a mis en évidence des lacunes

parmi lesquelles la multifonctionnalité de l'activité agricole qui n'est souvent pas spécifiquement abordée dans les démarches de diagnostic et d'évaluation (Rossing *et al.*, 2007). En effet, certaines méthodes d'évaluation ont tendance à se concentrer sur les aspects écologiques et à essayer d'inclure également, dans une certaine mesure, les perspectives économiques et sociales de la durabilité. En revanche, elles ne considèrent pas la multifonctionnalité de l'agriculture. Elles se sont construites sur la base de connaissances empiriques du fonctionnement des systèmes de production agricole afin de les évaluer. Elles sont donc très centrées sur l'agriculture, par conséquent très faiblement adaptées à l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles pluriactives combinant activités agricoles et non-agricoles. En outre, les méthodes d'évaluation de la durabilité des exploitations conventionnelles ne sont pas assez sensibles et fines pour différencier les exploitations agricoles entre elles. Elles prennent peu en compte la spécificité de l'agriculture biologique et/ou agroécologique. Il faut donc construire d'autres outils spécifiques permettant de prendre en compte la notion de pluriactivité au sein de l'exploitation agricole, ainsi que ses aspects biologiques et/ou agroécologiques.

Tous les outils qui existent actuellement (anciennes et nouvelles méthodes) fournissent des résultats statiques sans aucune évolution possible. Ils permettent d'avoir une idée sur la situation générale de l'exploitation (ses atouts et ses faiblesses) au moment présent mais en revanche, ils ne permettent pas de se projeter dans le futur en proposant des solutions alternatives possibles. De plus, presque tous ces outils sont généralistes, non spécifiques (le calcul des indicateurs se fait pour tout type d'exploitations indépendamment des spécificités des systèmes de production) et basés sur un ensemble d'indicateurs de pression qui ne permet pas de mesurer réellement les impacts des pratiques agricoles. D'où le caractère innovant de ce travail de recherche qui consiste à concevoir un modèle de diagnostic et d'évaluation du processus de transition agroécologique tout en tenant compte de la multifonctionnalité de l'exploitation agricole. C'est un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer la performance du processus de transition agroécologique, d'identifier les freins aux changements et de proposer des pistes alternatives possibles pour améliorer les performances agro-environnementales, sociales et économiques d'une exploitation agricole donnée. C'est un outil spécifique qui tient compte du type d'exploitations (modes et systèmes de production, et productions agricoles) et du contexte dans lequel elle se situe. Il est basé à la fois sur des indicateurs de pression et d'impact: des indicateurs inspirés des méthodes classiques d'évaluation de la durabilité auxquels nous ajoutons de nouveaux indicateurs spécifiques pour l'agroécologie élaborés par nous-mêmes et à partir d'une recherche bibliographique, et développés en fonction du contexte de ce présent travail.

Conclusion du chapitre V

Les méthodes d'évaluation de la durabilité permettent de situer les atouts et les faiblesses des systèmes de production agricole. Certaines méthodes visent les aspects environnementaux seulement alors que d'autres cherchent à évaluer la durabilité dans sa globalité où les trois aspects, environnementaux, sociaux et économiques sont étudiés. Ces méthodes ne prennent pas en compte la multifonctionnalité de l'activité agricole, s'intéressent essentiellement aux exploitations agricoles conventionnelles et apparaissent peu adaptées pour l'évaluation des exploitations biologiques et celles en transition agroécologique. En effet, l'évaluation de la durabilité de trois exploitations biologiques à l'aide des méthodes IDEA, RAD et DIALECTE a montré que certains indicateurs étaient pertinents, d'autres non. Il apparait donc nécessaire de concevoir un nouvel outil d'aide à la décision permettant d'évaluer les performances de la transition agroécologique. Cette transition doit pouvoir être évaluée de manière rigoureuse et adaptée aux conditions spécifiques des systèmes de production tout en tenant compte de la multifonctionnalité de l'activité agricole.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC ET D'EVALUATION DE LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE

La conception de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la transition agroécologique est basée sur la complémentarité entre des principes théoriques issus de cinq années de recherches et de réflexion, et des calculs. Afin de comprendre cette conception, il est donc nécessaire de développer ses différentes étapes. Nous commençons par présenter le modèle conceptuel qui permet d'identifier les bases de notre nouvel outil et les relations existantes entre ses différents éléments. Par la suite, nous expliquons la méthodologie développée pour mesurer la performance du processus de transition agroécologique. Cette mesure nécessite la collecte de données qualitatives et quantitatives; nous finissons donc par identifier leurs sources d'acquisition.

6.1. Conception du modèle conceptuel

Le processus de transition agroécologique est un processus dynamique qui se caractérise par différentes relations entre des enjeux, des objectifs, des techniques agricoles, des moyens de mise en œuvre et des impacts (techniques, environnementaux, économiques et sociaux). Des changements au niveau de ces relations peuvent intervenir en permanence. Un modèle conceptuel basé sur trois matrices est donc construit à partir de la dynamique du comportement agroécologique. Pour ce nouvel outil, cinq enjeux ont été déterminés, à savoir *l'environnement*, *la protection de la culture*, *la santé*, *la société* et *l'économie*. Leur détermination a été basée sur les principes de l'agriculture durable et la multifonctionnalité de l'activité agricole. Pour être durable, un système de production agricole doit être respectueux de l'environnement et de l'être vivant. La pratique agricole ne doit pas nuire de façon irréversible à l'environnement, à ses ressources (pollution, surexploitation, dégradation, etc.) et à la santé humaine et animale (maladies, troubles, etc.). Un système agricole durable doit également être économiquement viable en fournissant aux agriculteurs tous les moyens nécessaires à leur subsistance et en améliorant leur situation financière (marge brute, dettes, aides, etc.). De ce fait, les conséquences de la pratique agricole peuvent être observées au niveau de l'environnement, de la santé et de la situation économique de l'agriculteur. En revanche, la manière dont l'activité agricole est menée concerne en premier lieu la culture (sa protection contre les maladies et les ravageurs, et sa croissance) et peut aussi influencer le côté social (vie de l'agriculteur, son implication dans la vie territoriale, services rendus aux autres acteurs, etc.).

Pour répondre aux enjeux, il est nécessaire de mettre au point une ou plusieurs techniques agricoles. Pour cela, une première matrice mettant en évidence la relation entres les objectifs et les techniques agricoles est établie (Annexes 1 et 2). Chaque technique agricole possède une ou plusieurs méthodes de mise en œuvre et nécessite l'utilisation d'un ou plusieurs outils. Une deuxième matrice est alors déterminée afin de présenter les moyens (méthodes et outils) qui peuvent intervenir dans la mise en place des techniques agricoles, ainsi que leurs caractéristiques (Annexe 3). Chaque pratique agricole peut avoir plusieurs impacts environnementaux et/ou sociaux et/ou techniques et/ou économiques. La relation entre techniques agricoles et impacts fait donc l'objet d'une troisième matrice (Annexe 4). Une modification au niveau des techniques agricoles, donc au niveau des itinéraires techniques choisis entraine alors des changements au niveau des moyens de mise en œuvre et des impacts (Figure 26).

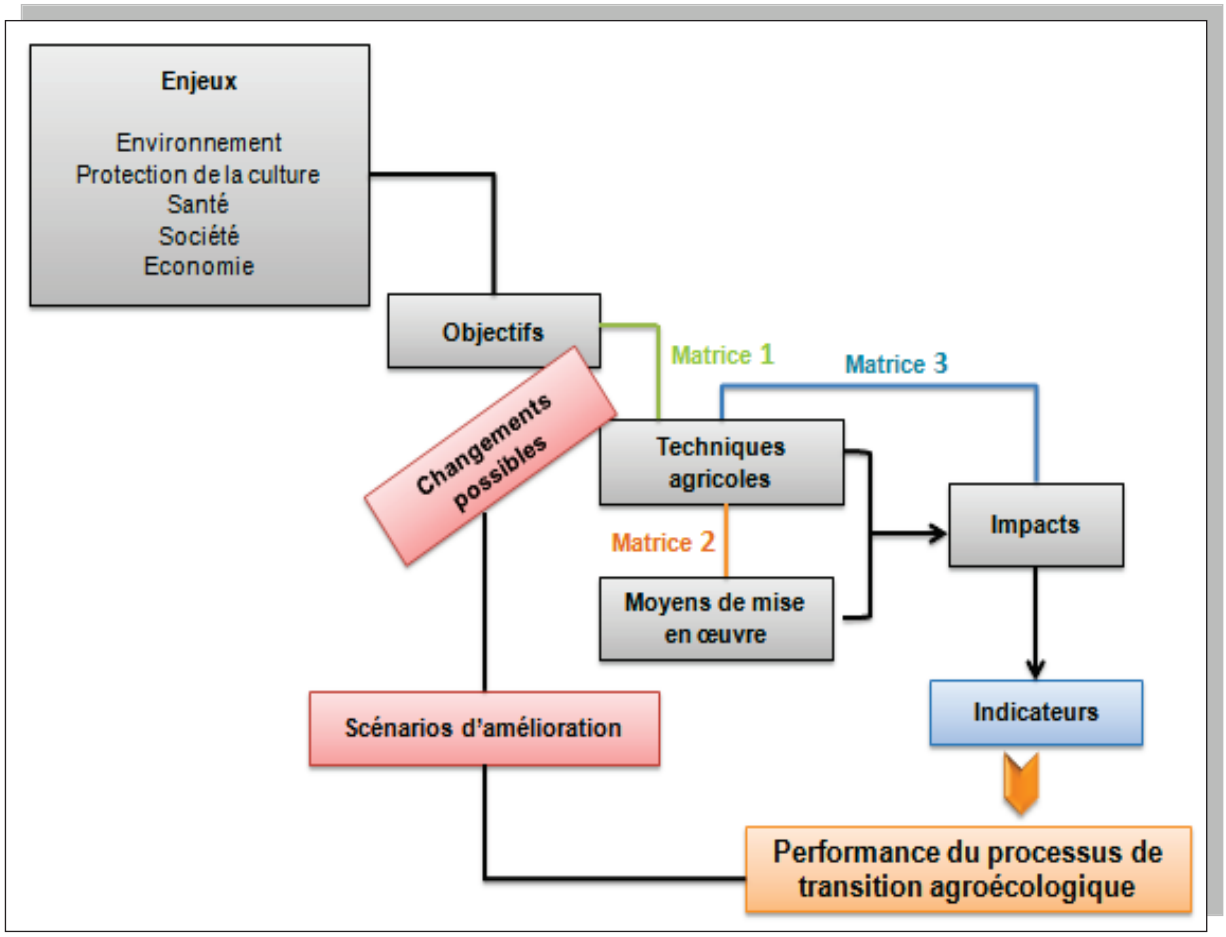


Figure 26. Présentation du modèle conceptuel (Réalisation: Trabelsi, 2014)

6.1.1. Matrice objectifs & techniques agricoles

Considérée comme un modèle d'agriculture durable, l'agroécologie doit répondre à des objectifs qui s'insèrent parfaitement dans l'approche du développement durable. De ce fait, les objectifs fixés dans ce présent travail de recherche sont inspirés de ceux de la notion du développement durable. Afin d'améliorer la performance de la transition de l'exploitation agricole vers des systèmes de production agroécologique, il est nécessaire de sauvegarder et restaurer les écosystèmes naturels et les ressources non renouvelables en diminuant la pollution des eaux et des sols, en améliorant la fertilité des sols et l'efficience de la fertilisation azotée, en limitant l'érosion des sols et le ruissellement, en préservant la ressource eau et les ressources énergétiques et en conservant la qualité de l'air, la biodiversité et les ressources territoriales. Il faut aussi garantir une alimentation saine, nutritive et en quantité suffisante tout en luttant contre les ennemis des cultures et en améliorant la sécurité nutritionnelle des produits agricoles. En renforçant l'insertion et l'implication sociale et en diminuant l'intensité et la pénibilité du travail, la transition agroécologique peut répondre aussi à l'amélioration de la qualité de vie des agriculteurs et à la fourniture de plusieurs services rendus aux territoires. L'animal appartient à l'ensemble dynamique d'organismes vivants de l'écosystème, la conservation du son bien-être est également un objectif essentiel à atteindre par la transition agroécologique.

Des techniques et/ou actions agricoles sont nécessaires pour réaliser les différents objectifs de la transition vers des systèmes de production agricole plus durables. Cette transition dépend de la mise en place de systèmes de cultures innovants, basés sur le fonctionnement de la biodiversité et des services écosystémiques. Par conséquent, elle encourage le recours à des pratiques agricoles dites "durables". Ces pratiques, appelées aussi les bonnes pratiques agricoles, constituent un ensemble de règles à respecter dans l'installation et la conduite des cultures afin d'optimiser la production, tout en réduisant le plus possible leurs risques vis-à-vis de l'homme et de l'environnement. Il faut souligner qu'une même technique agricole peut répondre à plusieurs objectifs et que l'effet de sa mise en place peut être positif ou négatif en fonction des objectifs. L'utilisation des pesticides chimiques par exemple permet non seulement de lutter contre les ravageurs et les adventices des cultures, mais provoque aussi la pollution des eaux et des sols, la diminution de la fertilité des sols et la dégradation de la biodiversité ainsi que du bien-être humain et animal (Annexe 1). Les caractéristiques des techniques et/ou actions agricoles et leur contribution dans la réalisation des objectifs sont analysées dans l'annexe 2.

6.1.2. Matrice techniques agricoles & moyens et caractéristiques de leur mise en œuvre

La connaissance des moyens (outils et méthodes) utilisés par l'agriculteur est nécessaire pour atteindre les objectifs. Or, les moyens et les caractéristiques de leur mise en œuvre sont parfois inconnus. L'application d'une même technique et/ou action agricole peut se faire par différentes méthodes en utilisant plusieurs outils. Par exemple, la lutte biologique peut avoir trois types de stratégies (Mazoyer, Roudart, 2002). Une lutte biologique par *inoculation* qui vise à limiter les populations d'espèces nuisibles exotiques ou indigènes par l'importation d'agents exotiques. Une lutte biologique *inondative* qui consiste à introduire en grandes quantités un auxiliaire biologique dans les écosystèmes pour accroitre sa population et réduire ainsi celle de ravageurs. Il s'agit d'effectuer des lâchers d'auxiliaires plusieurs fois à forte dose. Une lutte biologique par *conservation* qui vise à maintenir les populations indigènes d'ennemis naturels par le biais de pratiques culturales adéquates et par une manipulation de l'habitat (mettre en place des haies, des bosquets, la rotation des cultures, etc.). Pour pratiquer la lutte biologique, l'agriculteur peut utiliser de nombreux auxiliaires: les coccinelles (meilleurs prédateurs naturels des pucerons), les guêpes et les libellules (dangereux prédateurs pour la plupart des insectes), etc. En se basant sur la littérature, des exemples de moyens et les caractéristiques de leur mise en œuvre sont décrits en fonction des techniques agricoles dans l'annexe 3. Par ailleurs, le recours à des avis expert (conseillers, techniciens agricoles, etc.) est toujours recommandé.

6.1.3. Matrice techniques agricoles & impacts

L'estimation de la réussite du processus de transition agroécologique, à moyen et long terme, passe par l'estimation de ses impacts (les changements significatifs et durables apportés par rapport à la situation initiale). Les techniques agroécologiques conditionnent à la fois la production à court terme et l'évolution de l'écosystème cultivé à long terme. Leur mise en place peut générer des impacts techniques, environnementaux, économiques et sociaux. Le caractère dynamique de la transition agroécologique permet l'évaluation dynamique (évolution dans le temps) de ces impacts. L'impact porte sur les relations entre un objectif spécifique et d'autres objectifs globaux. Par exemple, il est possible de mesurer l'impact de la mise en place d'une rotation allongée sur l'amélioration de la fertilité du sol, mais aussi sur la diminution de la pollution des eaux et l'amélioration de la fertilisation azotée (Annexe 4).

Les impacts techniques concernent surtout la pratique de l'activité agricole et les débouchés. Des modifications importantes sont observées au niveau de l'utilisation des intrants, la consommation des

ressources et l'amélioration de l'alimentation humaine et animale. En effet, certaines techniques agroécologiques permettent de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires (la lutte biologique, le faux-semis, le désherbage mécanique, etc.), des engrais azotés (l'intégration des légumineuses, l'analyse de l'azote minérale dans le sol, etc.), des ressources énergétiques et d'eau (la suppression ou la réduction du travail du sol, sa couverture permanente, etc.). D'autres entrainent l'augmentation des ressources protéiques pour l'alimentation humaine et animale en diversifiant les produits (le maintien de la diversité végétale et animale, etc.), en améliorant les conditions d'élevage (la protection des pâturages, la préservation de la santé des animaux, etc.) et en augmentant le taux de la biomasse organique dans le sol (l'utilisation des engrais verts, la mise en place d'un système agroforestier, etc.). La transition agroécologique favorise davantage la pérennité de l'exploitation agricole ainsi que les relations commerciales en créant de nouveaux ateliers de production (poules pondeuses, bovins viande…) ou de transformation (farine, vin, huile…), et en diversifiant les circuits pour la vente (vente directe, circuits courts, marchés, coopératives...).

Le différentiel de rendements agricoles entre un mode de production conventionnel et un mode de production plus économe en intrants, comme l'agroécologie, nourrit un débat intense. En effet, suite à une transition agroécologique les rendements peuvent être améliorés ou dégradés selon la culture et le contexte pédoclimatique. Au début (les n premières années) d'une transition agroécologique, le producteur peut avoir une baisse des rendements. Cette baisse est due à la démarche de la conversion considérée longue et à l'adaptation du système de production à une nouvelle conduite (nouvelles techniques culturales, nouvelle organisation du travail, etc.). Les rendements peuvent diminuer sous le fait de la réduction voire la suppression de l'utilisation des produits de synthèse. De plus, la mise en place des infrastructures agroécologiques, leur croissance ainsi que le commencement de leurs actions (effets) nécessitent du temps. Le producteur doit préparer sa conversion dont la durée dépend des productions. Pour les productions végétales, la période de conversion en bio est de deux ans avant le semis des cultures annuelles et de trois ans avant la récolte des cultures pérennes (arboriculture, viticulture, etc.). Dans le cas de reprise de prairies naturelles ou terres non cultivées, la période de conversion peut être réduite sous certaines conditions (Chambres d'Agriculture de Midi Pyrénées, 2010). En ce qui concerne les productions animales, c'est le règlement (CE) 889/2008[30] qui définit les durées de conversion à l'agriculture biologique. La transition vers des systèmes de production agroécologique peut réduire les rendements, mais il ne faut pas négliger les autres bénéfices qui peuvent en résulter. En outre, cette chute de rendements pourra être compensée par la baisse des charges opérationnelles, la recherche et la mise en place de nouvelles technologies et découvertes innovantes.

La majorité des techniques agroécologiques consistent à réduire l'impact environnemental de l'activité agricole et permettent de renforcer à la fois la résilience des agrosystèmes (leur capacité à s'adapter à des perturbations de différentes natures climatique, énergétique, etc.), les interactions entre leurs éléments (êtres vivants, ressources aquatiques, etc.) et les phénomènes de régulations biologiques (flux d'éléments fertilisants, de matière organique du sol, de populations d'adventices et de ravageurs, etc.). Ce renforcement est atteint par le maintien des fonctionnalités écologiques, notion clé pour préserver le fonctionnement des écosystèmes et retirer des bénéfices. Quelques exemples de ces fonctionnalités sont décrits ci-après. *L'amélioration de la qualité et la quantité des eaux et des sols* en limitant leur pollution par les pesticides (utilisation des biopesticides, couverture permanente du sol, etc.) et les

[30] Texte du 5 septembre 2008 (889/2008), paru au journal officiel de l'Union Européenne le 18 septembre 2008: *http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:0084:FR:PDF*

nitrates (intégration des plantes de coupure et/ou des CIPAN, etc.) et en réduisant les phénomènes d'érosion et du ruissellement (mise en place des infrastructures antiérosives, l'enherbement, etc.). *Le maintien de la biodiversité et la restauration de la mosaïque paysagère* en diversifiant les productions et les espaces verts (diversification des cultures et allongement des rotations, mise en place des infrastructures agroécologiques, etc.). *L'augmentation de la fertilité des sols, l'amélioration de leur structure et la régulation de leur température* par la suppression ou la réduction du travail du sol, l'association des cultures dans la même parcelle, etc. *La réduction des émissions de gaz à effet de serre* en mettant en place un système agroforestier, en réduisant le désherbage mécanique, etc. *La conservation du patrimoine végétale et animale* par la présence des espèces végétales anciennes, des races et/ou des variétés régionales rares ou en voie de disparition, etc.

Sur le plan économique, les systèmes de production agroécologique privilégient l'autonomie des exploitations agricoles et l'amélioration de leur productivité et compétitivité. En effet, l'utilisation des techniques alternatives pour contrôler les ravageurs des cultures, l'adaptation de la date de semis et/ou de plantation, l'utilisation d'un dispositif d'irrigation économique, etc. sont toutes des pratiques qui peuvent contribuer à améliorer les revenus des producteurs, même en présence d'une baisse de rendement, en diminuant ou en supprimant les coûts de production (pesticides, engrais, eau et énergie). La diminution ou la suppression des coûts d'intrants entraine à son tour une suppression des coûts relatifs à la santé humaine et animale. La marge en agriculture est essentiellement permise par le niveau de rendement. La chute de rendement agricole entraine automatiquement une baisse des marges. Mais le producteur peut éviter cette baisse en augmentant le prix de vente de ses produits agricoles et en cherchant des financements pour les autres bénéfices de sa transition agroécologique (aides et primes publiques). Le producteur peut être sécurisé contre les fluctuations des prix de l'alimentaire en diversifiant ses productions et ses débouchés. En revanche, il faut souligner que la mise en place de certaines pratiques agroécologiques peut générer des coûts supplémentaires pour le producteur. Ces coûts sont relatifs à l'embauche de la main d'œuvre, au traitement et/ou recyclage des eaux usées et/ou des effluents liquides liés à l'élevage, à l'installation et l'entretien des infrastructures agroécologiques, à la transformation des produits sur l'exploitation (achat du matériel, construction des bâtiments…), à la production de l'énergie renouvelable (achat et installation des éoliennes…), etc.

La transition agroécologique favorise une prise de conscience des liens entre l'alimentation, la santé et l'environnement ainsi qu'une forte implication de différents acteurs dans le territoire. En effet, la mise en place des techniques agroécologiques permet d'offrir un bon environnement pour l'exploitant en diminuant l'intensité et la pénibilité du travail (réduction ou suppression du travail du sol, couverture permanente du sol, etc.), de conserver le bien-être humain et animal, et d'offrir une alimentation saine et de qualité meilleure (utilisation des biopesticides, de la lutte biologique, maintien d'une autonomie alimentaire pour les animaux, etc.). Cette transition valorise également les ressources locales d'un territoire, maintient le tissu social des espaces ruraux et encourage les dynamiques collectives. Il est nécessaire d'accompagner les producteurs à gérer la complexité et l'incertitude de leurs connaissances car l'agroécologie repose largement sur des savoir-faire locaux accumulés au cours des siècles par l'agriculture familiale. Dans ce contexte, la transition agroécologique permet donc de promouvoir les expérimentations paysannes et les échanges d'expériences afin de partager et de diffuser les savoirs et les connaissances sur les pratiques adaptées au contexte local (renforcement de la communication entre agriculteurs, ouverture de l'exploitation agricole à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation, etc.). Elle peut également améliorer la communication entre producteurs, consommateurs et autres acteurs du territoire (développement de la vente directe, de l'agrotourisme, etc.), et renforcer l'insertion des producteurs dans la société ainsi que leur contribution aux différentes activités de développement

et d'innovation (intégration dans des structures associatives, participation dans des organisations et/ou des institutions de conseil et de démonstration, etc.).

L'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique d'une exploitation agricole consiste à estimer les impacts des différentes techniques et/ou actions agroécologiques mises en place. Cette évaluation nécessite l'établissement des indicateurs, qui représentent des grandeurs spécifiques observables et mesurables, permettant de porter une appréciation générale sur la transition par rapport à la situation initiale, de positionner les exploitations agricoles par rapport à "un seuil de performance agroécologique" et de les comparer entre elles. Cette évaluation est très importante afin de définir les réorientations à donner à l'action en proposant d'autres scénarios d'amélioration en cas de résultats non satisfaisants. Des changements au niveau des objectifs et des techniques agricoles peuvent alors être envisagés (Figure 26, page 103).

6.2. Mesure de la performance de transition agroécologique

Notre outil diagnostique et évalue le processus de transition agroécologique sur trois échelles: agro-environnementale, sociale et économique. A chaque échelle correspond un ou deux enjeux. Pour l'échelle agro-environnementale, on distingue les enjeux *Environnement* et *Protection de la culture.* Les enjeux *Santé* et *Société* appartiennent à l'échelle sociale alors que l'échelle économique est constituée de l'enjeu *Economie*. Vingt-quatre indicateurs renseignant sur les performances agro-environnementale, sociale et économique de la transition agroécologique sont établis en fonction de ces enjeux (Figure 27).

L'enjeu *Environnement* est composé de neuf indicateurs, à savoir la pollution des eaux et des sols, la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, la préservation de la ressource eau, la préservation de l'énergie, l'IRTE (Indicateur de Risque de Toxicité Environnementale) et la biodiversité et ressources locales du territoire. Les deux indicateurs contrôle des ravageurs et contrôle des adventices appartiennent à l'enjeu *Protection de la culture*. Le bien-être animal et l'IRSA (Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur) sont les deux indicateurs qui forment l'enjeu *Santé*. L'enjeu *Société* comprend trois indicateurs: l'implication sociale, la sécurité nutritionnelle des produits et l'intensité et pénibilité du travail. L'efficacité économique ou productive, la productivité du capital, la sensibilité aux aides, l'autonomie financière, l'efficience du processus productif, la dépendance vis-à-vis les achats d'intrants, l'efficience-santé applicateur et l'efficience-toxicité environnement sont les huit indicateurs de l'enjeu *Economie*. Cette répartition des indicateurs en fonction des enjeux a été faite selon une certaine logique, ce qui explique le nombre irrégulier d'indicateurs entre les cinq enjeux. Les indicateurs exprimant les ressources naturelles renouvelables et non renouvelables, la biodiversité végétale et animale ainsi que les phénomènes naturels, tels que l'érosion et le ruissellement, appartiennent à l'enjeu *Environnement*. Le contrôle des ravageurs et des adventices concernent *la protection de la culture*. L'enjeu *Santé* est censé regrouper les indicateurs qui renseignent sur la santé humaine et animale. Les indicateurs qui mesurent des impacts sociaux sont regroupés dans l'enjeu *Société*. Les indicateurs renseignant sur la situation financière, entre-autre économique, ne peuvent être que dans l'enjeu *Economie*.

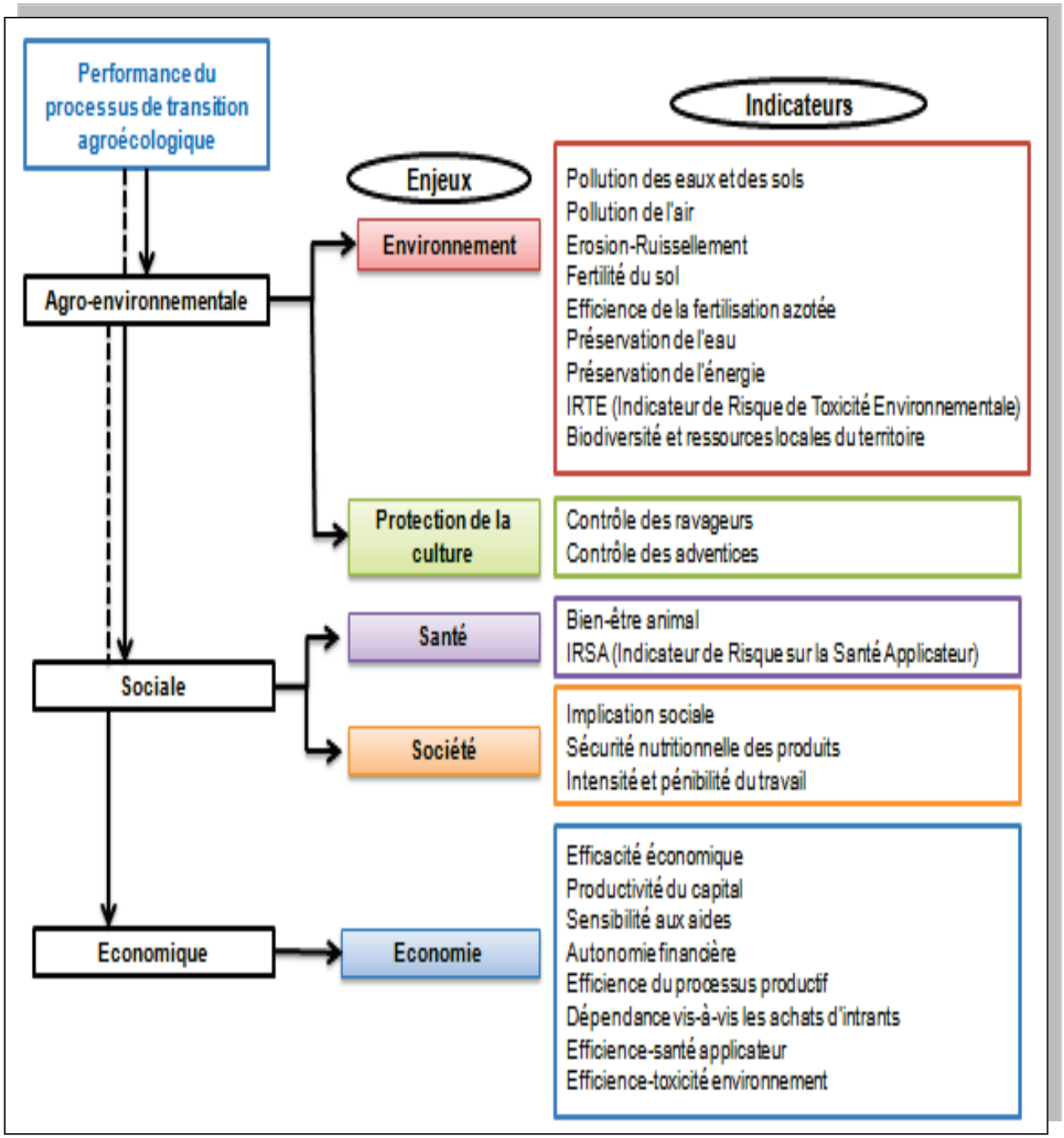


Figure 27. Présentation générale de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la transition agroécologique (Réalisation: Trabelsi, 2014)

Les indicateurs établis ont deux origines principales: ***i)*** des indicateurs inspirés des méthodes IDEA et RAD d'évaluation de la durabilité des exploitations conventionnelles (bien-être animal, sensibilité aux aides et efficience du processus productif de la méthode IDEA; efficacité économique, productivité du capital et biodiversité et ressources locales de la méthode RAD) et ***ii)*** de nouveaux indicateurs élaborés à partir d'une recherche bibliographique et du contexte de l'étude. Tous les indicateurs ont été déterminés en se basant sur les objectifs de la transition agroécologique. En effet, l'idée est de mesurer la réussite du processus de transition agroécologique, d'évaluer donc la réalisation des différents objectifs. A chaque objectif correspond alors un indicateur. Les indicateurs des enjeux *Environnement*,

Protection de la culture, *Santé* et *Société* reflètent la majorité des objectifs fixés préalablement dans l'annexe 1 (Tableau 7). La mise en place des techniques agroécologiques peut également avoir des conséquences sur la situation économique de l'exploitant. Pour cela, des indicateurs économiques sont nécessaires afin d'évaluer les impacts de cette mise en place sur trois principaux points, à savoir l'efficacité de l'activité agricole, l'efficience de l'utilisation des ressources pour la production et l'autonomie de l'exploitant par rapport aux différents achats externes (pesticides, semences, engrais, etc.) et aux aides.

Tableau 7. Objectifs & Indicateurs des enjeux *Environnement*, *Protection de la culture*, *Santé* et *Société* (Trabelsi, 2015)

Objectifs	Indicateurs
Diminuer la pollution des eaux et des sols	Pollution des eaux et des sols
Conserver et améliorer la qualité de l'air	Pollution de l'air
Préserver les organismes vivants et les compartiments physicochimiques de l'environnement	IRTE
Améliorer la fertilité des sols	Fertilité du sol
Améliorer l'efficience de la fertilisation azotée	Efficience de la fertilisation azotée
Limiter l'érosion et le ruissellement	Erosion-ruissellement
Préserver la ressource eau	Préservation de la ressource eau
Préserver les ressources énergétiques	Préservation de l'énergie
Lutter contre les adventices	Contrôle des adventices
Lutter contre les ravageurs	Contrôle des ravageurs
Conserver la biodiversité et les ressources territoriales	Biodiversité et ressources locales du territoire
Conserver le bien-être animal	Bien-être animal
Préserver la santé humaine (de l'applicateur)	IRSA
Améliorer la sécurité nutritionnelle des produits	Sécurité nutritionnelle des produits
Renforcer l'implication sociale	Implication sociale
Diminuer l'intensité et la pénibilité du travail	Intensité et pénibilité du travail

6.2.1. Identification des indicateurs et établissement de leurs équations

Les différents indicateurs ne sont pas établis ni calculés de la même manière. Pour cela, ils sont divisés en trois groupes: le premier groupe est composé des indicateurs économiques, le deuxième comprend les deux indicateurs IRTE et IRSA, et le reste des indicateurs forment le dernier groupe.

- ***Groupe 1 : Les indicateurs économiques***

Pour être performante, une exploitation agricole donnée doit être autonome, efficace et efficiente. Pour mesurer cette performance, huit indicateurs économiques intégrant parfaitement ces critères ont été choisis pour cette présente étude. Ils renseignent sur la situation financière de l'exploitation agricole et les problématiques concernant l'utilisation des intrants.

L'efficacité économique permet de mesurer la richesse créée par l'exploitation agricole en fonction des types de productions. Elle traduit ainsi son autonomie par rapport aux fournisseurs et sa capacité à utiliser les différents intrants de la manière la plus adéquate et la plus efficace. Par conséquent, une exploitation agricole ne peut être économiquement efficace que si elle est techniquement efficace, en possédant la meilleure organisation technique et matérielle, et en allouant de manière efficace ses ressources productives (Albouchi *et al.*, 2005; CIVAM, 2010; Honlonkou, 1999).

La productivité du capital exprime la capacité de l'exploitant à dégager un revenu, une valeur ajoutée à partir de son capital engagé (CIVAM, 2010). Elle reflète l'influence simultanée du travail, des facteurs intermédiaires, des évolutions de l'organisation, des taux d'utilisation des capacités et des erreurs de mesure. Ses variations renseignent sur les degrés d'accroissement de la production en réduisant les coûts de bien-être (OCDE, 2001a).

La sensibilité aux aides traduit le degré de dépendance de l'exploitation agricole par rapport aux aides: plus la part de l'EBE (Excédent Brut d'Exploitation) provenant des aides directes est importante, plus l'exploitation agricole est sensible (Vilain, 2008).

L'autonomie financière renvoie à la dépendance de l'exploitation agricole vis-à-vis des prêts et des annuités, et à sa capacité à être flexible face à des aléas économiques et aux emprunts contractés. Elle traduit le poids que représentent les capitaux propres dans le total des ressources de financement: plus ce poids est élevé, plus l'exploitation est autonome financièrement et non vulnérable (Cohen, 1991; Vilain, 2008).

L'efficience du processus productif renseigne sur la manière de valoriser les intrants par le système de production, en d'autre terme, sur la capacité d'une exploitation agricole à produire de façon efficace avec les ressources limitées dont elle dispose: plus la part de ces ressources (intrants) est importante, plus l'efficience est faible. Elle exprime la tendance vers l'autonomie et l'économie des ressources en valorisant les potentialités et les savoir-faire en matière de transformation et commercialisation (Djimasra, 2009; Vilain, 2008).

La dépendance vis-à-vis des achats d'intrants estime monétairement l'importance de la consommation d'intrants dans le système de production. Elle renseigne sur la capacité de l'exploitant à être autonome et à limiter le recours à des intrants et produits achetés sur les marchés en privilégiant la valorisation de ses propres ressources. Elle traduit la capacité de l'exploitation agricole à convertir des « euros d'intrants » en un maximum d'« euros d'extrants ». Le bas niveau d'intrants est le gage d'une bonne et meilleure qualité environnementale et financière de l'exploitation agricole (Raveau, 2011; Vilain, 2008).

L'efficience économique de risques pesticides renseigne sur l'efficience et l'efficacité de l'exploitation agricole par rapport à l'usage des produits phytosanitaires et au revenu obtenu par l'exploitant estimé par la marge brute à l'hectare. Cette efficience économique traduit la corrélation entre l'utilisation des pesticides (l'efficience) et le revenu obtenu par l'exploitant à l'hectare (l'efficacité). Le recours aux pesticides génère des effets négatifs à la fois sur la santé de l'applicateur et sur l'environnement. Pour cela, deux indicateurs sont établis: *efficience-santé applicateur* et *efficience-toxicité environnement*. Le premier indicateur renseigne sur l'efficience et l'efficacité de l'exploitation agricole par rapport aux risques des pesticides sur la santé de l'applicateur et son revenu. Autrement dit, il exprime la relation entre l'utilisation des produits phytosanitaires toxiques pour la santé de l'applicateur et la marge brute obtenue à l'hectare. Le deuxième indicateur informe sur l'efficience et l'efficacité de l'exploitation par rapport aux risques des pesticides sur l'environnement et le revenu de l'exploitant. C'est-à-dire, il exprime la relation entre l'utilisation des produits phytosanitaires toxiques pour l'environnement et la marge brute obtenue à l'hectare.

A l'exception des équations de l'efficience-santé applicateur et de l'efficience-toxicité environnement établies dans le cadre de ce présent travail, les équations des autres indicateurs économiques sont définies à partir des deux méthodes IDEA et RAD, et de la littérature (Tableau 8).

Tableau 8. Equations des indicateurs économiques (Trabelsi, 2015)

Indicateurs	Equations	Sources
Efficacité économique	Valeur ajoutée / Produit de l'activité	RAD & CIVAM[31]
Productivité du capital	Valeur ajoutée / Quantité de capital utilisée (ou total d'actif)	RAD & OCDE (2001a)
Sensibilité aux aides	∑Aides directes /EBE	IDEA
Autonomie financière	Fonds ou Capitaux propres / Total du bilan (ou total passif)	Cohen (1991) & Obert, Mairesse (2014)
Efficience du processus productif	(Produit - Intrants) / Produit	IDEA
Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	Intrants (€) / Chiffre d'affaire hors aides PAC	Raveau (2011)
Efficience-santé applicateur	Marge brute/ha / IRSA pondéré/ha	Trabelsi (2014)
Efficience-toxicité environnement	Marge brute/ha / IRTE pondéré/ha	Trabelsi (2014)

- ***Groupe 2 : Les indicateurs IRTE et IRSA***

L'utilisation des pesticides chimiques peut avoir des risques sur les compartiments environnementaux (air, eau et sol), notamment la biodiversité (la faune et la flore) et la santé humaine. L'évaluation de

[31] Indicateurs de résultats en Agriculture Durable.
http://www.civam.org/images/actions/ressources/agriculture%20durable/Indicateurs-ad-2.pdf

ces risques est alors nécessaire pour préserver la santé de l'applicateur et conserver l'environnement. Les politiques actuelles de réduction des pesticides en France, telles que le plan Ecophyto 2018[32], utilisent essentiellement des indicateurs "de pression", comme l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires), estimés directement à partir de la quantité de produits utilisés. L'IFT détermine le nombre de doses homologuées appliquées sur une parcelle donnée pendant une campagne culturale (Pingault *et al.*, 2009). L'IFT d'un produit phytosanitaire peut être calculé comme suit (Mghirbi, 2016):

$$\textbf{IFT produit par ha} = \frac{\textbf{dose appliquée sur la parcelle par ha}}{\textbf{dose homologuée par ha de la culture considérée}}$$

A partir de l'IFT produit, l'IFT au niveau de la parcelle est peut être calculé en utilisant la formule suivante (Mghirbi, 2016):

$$\textbf{IFT parcelle} = \sum(\textbf{IFT produit par ha} \times \textbf{Surface traitée de la parcelle traitée (ha)}$$

Afin de pouvoir comparer les IFT de plusieurs parcelles, leurs valeurs sont ramenées à l'hectare (Mghirbi, 2016):

$$\textbf{IFT pondéré/ha} = \frac{\sum \textbf{IFT parcelle}}{\textbf{Surface totale de la parcelle (ha)}}$$

Les indicateurs "de pression" ne tiennent pas compte des risques liés à la toxicité des pesticides chimiques sur la santé et l'environnement. Pour cela, plusieurs indicateurs dits "d'impacts" ont été développés pour évaluer les risques des pesticides sur l'environnement. Ces indicateurs sont calculés à partir d'une charge de phytosanitaires sans tenir compte de la spécificité des matières actives et de leur toxicité (Zahm *et al.*, 2007a). Le besoin d'avoir des indicateurs opérationnels de gestion des risques phytosanitaires sur la santé de l'applicateur et les différents compartiments environnementaux a conduit notre équipe de recherche de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier à développer, dans le cadre du projet TRam[33], l'indicateur IRSA (Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur) (Le Grusse *et al.*, 2012; Mandart *et al.*, 2010) et l'indicateur IRTE (Indicateur de Risque de Toxicité Environnementale) (Ayadi *et al.*, 2012). Pour le développement de ces deux indicateurs, nous nous sommes basés sur des travaux norvégiens (Spikkerud *et al.*, 2004), québécois (Samuel *et al.*, 2012) et sur ceux de la Commission Européenne sur l'homologation des produits phytosanitaires (Commission Européenne, 1994, 2009). Ces indicateurs se différencient de ceux des québécois par leur adaptation aux normes européennes (les homologations et les règlementations européennes).

L'IRSA est un indicateur à notation, générique et modulable suivant le cas d'application. Il définit un indice de risque de santé qui représente le risque potentiel d'une matière active contenue dans une

[32] *http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/plan_ecophyto_2018-2-2-2_cle8935ee.pdf*

[33] Projet sur la gestion de la toxicité des pesticides en zone Ramsar: Etang de l'Or (France) et Merja Zerga (Maroc).

préparation commerciale donnée. Cet indicateur évalue les toxicités aigües et chroniques des produits phytosanitaires en prenant en compte les propriétés physico-chimiques et toxicologiques des matières actives. Il met aussi en évidence le risque associé à l'usage d'un produit phytosanitaire en considérant l'exposition liée au type de formulation, au milieu et à la technique d'application (Le Grusse *et al.*, 2012; Mandart *et al.*, 2010). L'IRTE est également un indicateur à notation permettant d'évaluer les impacts écotoxicologiques des pesticides sur les organismes vivants non-cibles (invertébrés terrestres, oiseaux herbivores et organismes aquatiques) ainsi que les comportements physicochimiques dans les milieux récepteurs (mobilité, persistance et bioaccumulation dans le sol) (Ayadi *et al.*, 2012). Les deux indicateurs IRSA et IRTE sont génériques et modulables suivant ***i)*** les pratiques phytosanitaires (techniques d'application, préparation commerciale, etc.); ***ii)*** l'échelle spatiale (lieu d'application: plein champs, sous serre, etc.) et ***iii)*** les conditions du milieu physique (facteur d'interception de la culture, potentiel de dérive, de ruissellement et de drainage) (Commission Européenne, 2004). Tous les deux peuvent être calculés à différentes échelles spatiales (parcelle culturale, exploitation agricole, bassin versant, etc.) (Mghirbi *et al.*, 2015):

$$\textbf{IRSA parcelle} = \sum \textbf{IRSA produit} \times \textbf{Surface traitée de la parcelle (ha)}$$

$$\textbf{IRTE parcelle} = \sum \textbf{IRTE produit} \times \textbf{IFT/ha} \times \textbf{Surface traitée de la parcelle (ha)}$$

Afin de pouvoir comparer les IRTE et les IRSA de plusieurs parcelles culturales, leurs valeurs sont alors ramenées à l'hectare:

$$\textbf{IRSA pondéré/ha} = \frac{\sum \textbf{IRSA parcelle}}{\textbf{Surface totale de la parcelle (ha)}}$$

$$\textbf{IRTE pondéré/ha} = \frac{\sum \textbf{IRTE parcelle}}{\textbf{Surface totale de la parcelle (ha)}}$$

Pour automatiser le calcul de ces deux indicateurs, un logiciel "EToPhy"[34] a été développé par notre équipe de recherche de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier dans le cadre du projet TRam. Il est principalement basé sur la jointure de deux bases de données Footprint (propriétés physico-chimiques, écotoxicologiques et toxicologiques des pesticides) et Agricommand (propriétés commerciales des pesticides: formulation, composition, cible, etc.) (Ayadi, 2013; Ayadi *et al.*, 2014).

- ***Groupe 3 : Les autres indicateurs***

Les indicateurs de ce groupe renseignent sur les performances des techniques agricoles. Chaque indicateur présente toutes les techniques agricoles qui peuvent intervenir dans la réalisation de l'objectif auquel il correspond. En effet, par rapport à un objectif bien déterminé, la mise en place d'une technique agricole donnée peut avoir un effet positif ou négatif. L'effet, qu'il soit négatif ou positif, est pris en compte dans l'identification de l'indicateur. Chaque indicateur permet alors d'estimer la réalisation de l'objectif "en quantifiant" l'effet de chaque technique agricole. Autrement

[34] EToPhy software *(2011), APP deposit n°: IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500*

dit, il permet de voir si les techniques mises en place par l'exploitant contribuent à la réalisation de l'objectif (par exemple réduire la pollution des eaux et des sols) ou le contraire (augmenter la pollution des eaux et des sols) (Tableau 9).

Tableau 9. Description des indicateurs du troisième groupe (Trabelsi, 2015)

Indicateurs	Description
Pollution des eaux et des sols	Les effets de l'utilisation des polluants (cuivre, soufre, pesticides chimiques et biologiques, nitrates, phosphate) et de la mise en place des méthodes alternatives sur la pollution des eaux et des sols.
Pollution de l'air	La contribution des techniques agricoles dans la propagation des polluants dans l'air.
Erosion-ruissellement	Les effets des techniques agricoles sur la stabilité de la structure du sol, sa richesse en matière organique, sa capacité à retenir l'eau et à freiner le transport de ses particules par l'eau et/ou le vent.
Fertilité du sol	La contribution de toutes les techniques agricoles pouvant améliorer ou dégrader la fertilité du sol.
Efficience de la fertilisation azotée	La capacité d'apporter la quantité nécessaire d'azote et d'éviter son gaspillage et sa perte à travers la présence de certaines techniques.
Préservation de la ressource eau	La performance de certaines actions par rapport à l'utilisation de l'eau et sa préservation.
Préservation de l'énergie	La performance de certaines actions par rapport à l'utilisation de l'énergie (carburant, électricité, gaz et azote), sa préservation et à la production de l'énergie renouvelable.
Biodiversité et ressources locales du territoire	La contribution des techniques agricoles dans la préservation ou l'amélioration de la diversité végétale et animale, l'harmonisation paysagère et la conservation des ressources génétiques animales et végétales locales caractérisant chaque territoire.
Contrôle des ravageurs	La performance des techniques agricoles à lutter contre les attaques des ravageurs des cultures (insectes, nématodes, acariens, etc.), à éviter leur prolifération, à augmenter la résistance des cultures et à attirer leurs auxiliaires (c'est-à-dire les prédateurs des ravageurs).
Contrôle des adventices	La performance des techniques agricoles à lutter contre l'apparition des adventices et leur développement.
Bien-être animal	La capacité de préserver la santé de l'animal et son bien-être à travers la nature de son alimentation (aliments et eau) et les conditions d'élevage (protection, confort, etc.)
Implication sociale	L'implication ou l'insertion de l'exploitant dans la société: ses relations avec les autres acteurs du territoire (agriculteurs, consommateurs et clients) et sa contribution au développement culturel et économique des activités territoriales ainsi qu'à l'échange d'expériences et des connaissances.
Sécurité nutritionnelle des produits	Les effets des techniques agricoles sur la qualité nutritive et sanitaire du produit agricole animal ou végétal final du point de vue sa richesse en éléments nécessaires (N, P, K) et sa teneur en pesticides.
Intensité et pénibilité du travail	La performance de certaines actions à atténuer l'intensité et la pénibilité du travail pour l'exploitant et à améliorer les conditions de son travail.

Ces indicateurs se présentent sous forme d'une *équation* de type ***Y= f(X)*** (avec Y: indicateur ; X: paramètres). Les paramètres ne sont autres que les techniques agricoles prédéfinies. Une même technique peut apparaitre dans plusieurs indicateurs. Les indicateurs et leurs différents paramètres sont présentés dans l'annexe 5.

$$Indicateur = \sum f\,(Techniques\ agricoles)$$

Par exemple, l'indicateur "Pollution de l'air" est composé de quatre paramètres: (PA1) Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN dans la rotation, (PA2) Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement, (PA3) Mise en place d'un système agroforestier et (PA4) Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel):

$$Pollution\ de\ l'air = \sum_1^4 PA$$

L'établissement des équations de ces indicateurs nécessite deux types de classement des paramètres (ou techniques agricoles): un classement en fonction des modes et systèmes de production, et des productions agricoles, et un autre en fonction des échelles: l'exploitation agricole et la parcelle culturale. Chaque production agricole est caractérisée par la mise en place d'un ensemble spécifique de techniques agricoles. En revanche, une même technique agricole peut également être utilisée pour différentes productions agricoles. Trois types de systèmes de production (polyculture, polyculture-élevage et élevage), huit productions végétales (céréales, oléoprotéagineux, arboriculture, viticulture, cultures industrielles, maraichage, plantes ornementales et prairies (fourrage)) et la production animale (élevage ou cheptel) ont alors été choisis pour cette présente étude. Pour le maraichage et les plantes ornementales, le classement des techniques agricoles est fait selon deux modes de production: serriculture (cultures sous-serre ou sous-abris) et plein champ (Annexe 6). Certaines techniques agricoles s'appliquent à l'échelle de l'exploitation alors que d'autres (le traitement avec des produits phytosanitaires et/ou biologique, l'utilisation du cuivre et du soufre ainsi que la fertilisation N, P, K) n'intéressent que les cultures, elles ne s'appliquent donc qu'à l'échelle de la parcelle. Par conséquent, il est important de classer les différents paramètres, c'est-à-dire les techniques agricoles, selon deux niveaux: exploitation et parcelle (Annexe 7). A partir de ces deux classements, deux types d'équations sont établis (Figure 28):

Une équation au niveau de l'exploitation agricole en fonction des modes et systèmes de production, et des productions agricoles pour les indicateurs dont les paramètres ne concernent que le niveau *Exploitation* et les indicateurs dont les paramètres sont divisés entre les deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle*. A cette échelle, les productions agricoles peuvent être associées, c'est-à-dire qu'on peut trouver des exploitations agricoles avec plusieurs types de cultures intégrant ou non l'élevage (cultures annuelles sans cultures légumières & cultures pérennes ou cultures pérennes & prairies & élevage, etc.) (Annexe 8);

Une équation au niveau de la parcelle culturale uniquement pour les indicateurs dont les paramètres sont divisés entre les deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle*. Cette équation reste toujours la même indépendamment des productions agricoles car le traitement chimique ou biologique et la fertilisation s'appliquent à toutes les productions cultivées en plein champ ou sous-abris (Annexe 9). Après avoir identifié les indicateurs et établi leurs équations, il est désormais possible de procéder à leur calcul.

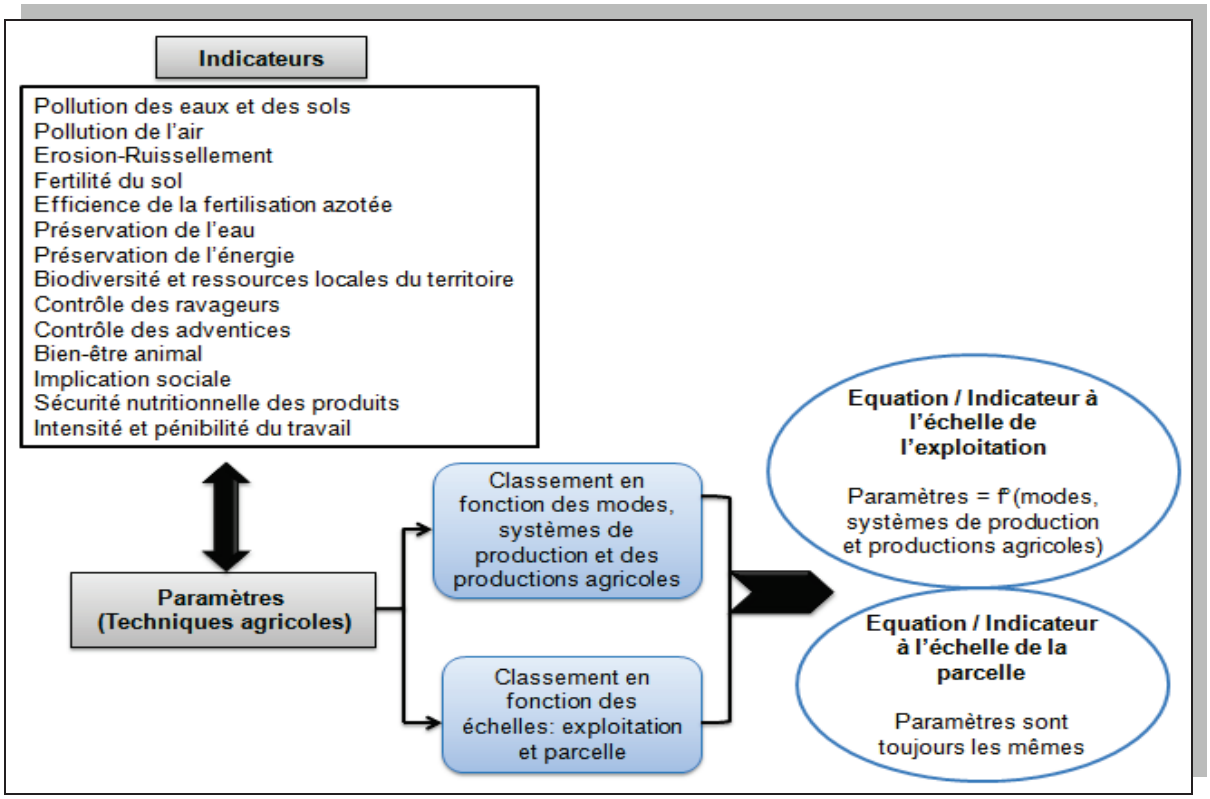


Figure 28. Schéma explicatif simplifié du classement des paramètres des indicateurs du troisième groupe et d'établissement de leurs équations (Réalisation: Trabelsi, 2014)

6.2.2. Calcul des indicateurs

Le calcul de la performance agroécologique de l'exploitation agricole par rapport aux différents indicateurs peut être fait à trois niveaux: l'exploitation (indicateurs économiques et certains indicateurs du troisième groupe), la parcelle (les deux indicateurs IRSA et IRTE) et les deux ensembles (le reste des indicateurs du troisième groupe). Par conséquent, le calcul de la performance agroécologique globale est fonction des indicateurs.

6.2.2.1. Performance aux niveaux "Exploitation" et "Parcelle"

Pour pouvoir calculer les indicateurs du troisième groupe (autres que les indicateurs économiques, l'IRSA et l'IRTE), il faut d'abord déterminer les modes d'identification de leurs paramètres. Les méthodes IDEA et DIALECTE sont à l'origine de certains modes d'identification alors que le reste a été déterminé dans le cadre de cette étude (Annexe 10). Afin d'obtenir un indice de performance pour chaque indicateur, les différentes composantes d'un système de production agricole sont évaluées en attribuant des notes aux paramètres (techniques agricoles) des indicateurs du troisième groupe, aux valeurs IRSA et IRTE pondérés/ha et aux résultats des équations des indicateurs économiques. Plus la note est élevée plus la performance est bonne. Un système de notation est alors défini pour calculer tous les indicateurs. Ce système est constitué de quatre grilles de notation: une première grille de notation des paramètres au niveau "Exploitation" (Annexe 11), une deuxième au niveau "Parcelle" (Annexe 12) pour les indicateurs du troisième groupe, une troisième grille économique (Annexe 13) et une dernière pour les valeurs IRSA et IRTE pondérés/ha (Annexe 14).

A l'exception de l'IRSA et de l'IRTE, les modes de notation ont été déterminés soit en s'inspirant des méthodes classiques d'évaluation de la durabilité IDEA, DIALECTE et RAD, soit en se basant sur des recherches bibliographiques et le contexte de l'étude. Pour attribuer des notes aux indicateurs IRSA et IRTE, des intervalles de valeurs par hectare ont été déterminés à partir des valeurs calculées par le logiciel "EToPhy" pour les produits phytosanitaires attribués à chaque culture. Ces valeurs sont fonction des systèmes de culture: grandes cultures, viticulture et arboriculture. Par conséquent:

- ✓ Les indices de performance des indicateurs économiques (premier groupe) correspondent aux notes attribuées aux résultats de leurs équations.
- ✓ Les indices de performance des indicateurs IRSA et IRTE (deuxième groupe) correspondent aux notes attribuées aux valeurs IRSA et IRTE pondérés/ha calculées directement pour les différentes cultures.
- ✓ Les indices de performance des indicateurs du troisième groupe correspondent aux résultats du calcul de leurs équations après avoir attribué les notes à leurs paramètres (aux techniques agricoles): c'est-à-dire en remplaçant chaque paramètre par sa note.

La performance du processus de transition agroécologique d'une exploitation agricole par rapport aux différents indicateurs est déterminée en comparant les indices de performance obtenus avec les seuils de performance de ces indicateurs. Ces seuils ont été déterminés en attribuant les notes maximales aux résultats des indicateurs économiques, aux valeurs IRTE et IRSA pondérés/ha, et aux paramètres des indicateurs du troisième groupe. Autrement dit, la note maximale de l'indicateur (ou la somme des notes maximales de ses paramètres) est égale à son seuil de performance agroécologique.

La comparaison entre les indices de performance obtenus et les seuils peut se faire au niveau de l'exploitation pour les indicateurs économiques (premier groupe), au niveau de la parcelle pour les indicateurs IRSA et IRTE (deuxième groupe), et au niveau de l'exploitation et la parcelle pour le reste des indicateurs (Troisième groupe). Pour cela, deux grilles de notation maximale ont été établies pour les indicateurs du troisième groupe. La première grille concerne le niveau *Exploitation* où les seuils de performance agroécologique sont fonction des modes et systèmes de production, et des productions agricoles présentant un ou plusieurs types de cultures (Annexe 15). La deuxième grille est établie au niveau de la parcelle où les seuils sont toujours les mêmes quelque soit le mode de production ou la production agricole (car il s'agit toujours des mêmes paramètres), mais avec une petite différence au niveau de l'agriculture biologique (car les notes maximales de certains paramètres sont plus élevées) (Annexe 16). Les indicateurs IRTE et IRSA ont le même seuil de performance agroécologique, soit 30 (Annexe 14). Pour les indicateurs économiques, leurs seuils de performance sont présentés dans le tableau 10.

Les indices de performance obtenus permettent de comparer les exploitations agricoles et les différentes cultures entre elles. La comparaison peut concerner les itinéraires techniques, les techniques agricoles mises en place, les stratégies de fertilisation, les pratiques de conservation, etc. Pour faciliter cette comparaison, nous avons considéré que tous les seuils de performance agroécologique des indicateurs étaient égaux à 100%. Les indices de performances obtenus sont donc exprimés en pourcentages des valeurs maximales.

Tableau 10. Seuils de performance des indicateurs économiques (Trabelsi, 2015)

Indicateurs	Seuils de performance économique
Efficacité économique	7
Productivité du capital	6
Sensibilité aux aides	11
Autonomie financière	6
Efficience du processus productif	10
Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	4
Efficience-santé applicateur	11
Efficience-toxicité environnement	11

6.2.2.2. Performance globale

La performance globale est fonction des indicateurs. Afin d'obtenir une performance globale par rapport aux indicateurs du troisième groupe dont les paramètres sont divisés selon les deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle*, une conjonction entre ces deux niveaux est alors nécessaire. Pour chaque indicateur, cette conjonction est basée sur un calcul décrit comme suit (Figure 29):

Soit X le pourcentage de la note attribuée (ou l'indice obtenu) divisée par la note maximale (ou le seuil prédéfini) de l'indicateur au niveau *Exploitation*.
Pour chaque culture, soit Y la note attribuée multipliée par le pourcentage de sa surface par rapport à la SAU (Surface Agricole Utile) de l'exploitation.
Soit Z le pourcentage de la somme des Y divisée par la note maximale de l'indicateur au niveau *Parcelle*.
Nous supposons que la somme des notes maximales (ou des seuils) aux niveaux *Exploitation* et *Parcelle* pour chaque indicateur est égale à 100%. Le pourcentage de chaque note maximale (au niveau *Exploitation* ou *Parcelle*) par rapport à la somme des deux notes est alors calculé.
Soit A le résultat du pourcentage de la note maximale au niveau *Exploitation* multiplié par X, et soit B le résultat du pourcentage de la note maximale au niveau *Parcelle* multiplié par Z.
La performance globale de l'indicateur est égale à la somme A + B.

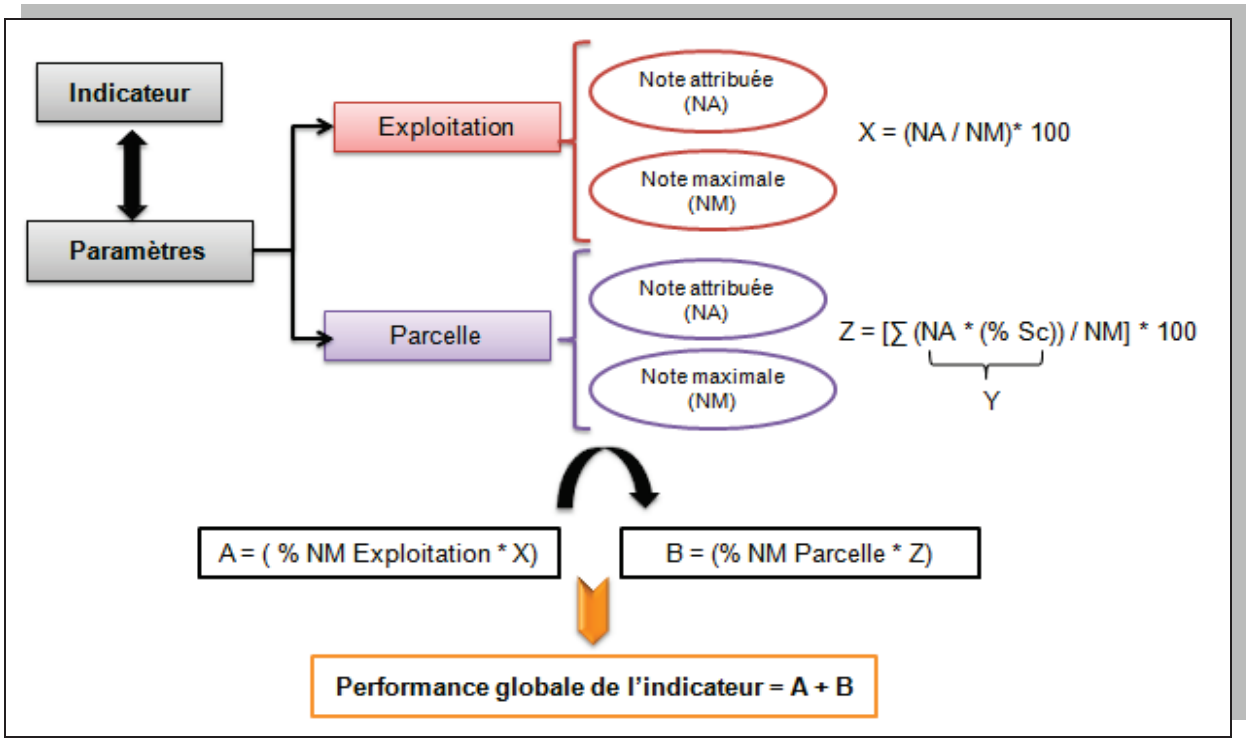


Figure 29. Calcul de la performance globale des indicateurs à partir de la conjonction entre les deux niveaux "Exploitation" et "Parcelle" (Réalisation: Trabelsi, 2015)

Pour les indicateurs IRSA et IRTE, exprimés au niveau "Parcelle" seulement, une performance globale peut également être calculée. Le principe du calcul reste le même sauf qu'il se fait uniquement au niveau "Parcelle" (donc le pourcentage de la note maximale au niveau "Parcelle" est égale à 100%) et avec la surface totale cultivée (c'est la surface des cultures y compris les prairies traitées avec des produits phytosanitaires) à la place de la SAU totale de l'exploitation:
Pour chaque culture, soit X la note attribuée multipliée par le pourcentage de sa surface par rapport à la surface totale cultivée: X = NA * (% Sc)
Soit Y le pourcentage de la somme des X divisée par la note maximale de l'indicateur: Y = (∑ X /NM) * 100.
La performance globale de l'indicateur est égale à Y.

Par conséquent:

- ✓ Les performances globales des indicateurs économiques (premier groupe) sont égales à leurs indices de performance exprimés en pourcentage.
- ✓ Les performances globales des indicateurs IRSA et IRTE (deuxième groupe), exprimés au niveau *Parcelle* uniquement, sont égales aux résultats de calcul de la conjonction entre les différentes cultures exprimés en pourcentage.
- ✓ Les performances globales des indicateurs du troisième groupe sont égales à leurs indices de performance calculés uniquement au niveau de l'exploitation et exprimés en pourcentage (pour les indicateurs dont les paramètres ne concernent que le niveau *Exploitation*) ou aux résultats de calcul de la conjonction des deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle* exprimés en pourcentage (pour les indicateurs dont les paramètres sont divisés entre les deux niveaux).

Afin d'estimer l'intensité de la performance de transition agroécologique d'une exploitation agricole par rapport à un indicateur donné, cinq classes de performance agroécologique globale ont été définies (Tableau 11). Dès lors, des pistes d'amélioration et des recommandations peuvent être proposées pour améliorer la performance globale du processus de transition agroécologique au niveau des exploitations agricoles. Les interventions peuvent concerner l'échelle agro-environnementale et/ou l'échelle sociale et/ou l'échelle économique, ainsi que le niveau "Exploitation" et/ou le niveau "Parcelle".

Tableau 11. Classification de la performance agroécologique globale (Trabelsi, 2015)

Classe	Pourcentage de performance	Intensité de la performance agroécologique
1	0 - 20%	Très faible
2	20% - 40%	Faible
3	40% - 60%	Moyenne
4	60% - 80%	Bonne
5	80% - 100%	Très bonne

6.3. Acquisition et traitement des données

Une collecte des données est nécessaire pour identifier les différents paramètres, attribuer des notes et calculer les différents indicateurs. Pour cela, des enquêtes ont été faites auprès de onze exploitants (Figure 30) dans le cadre du projet CASDAR "Post-MAET Gimone" sur la réduction progressive de l'utilisation des produits phytosanitaires pour améliorer la qualité de l'eau du BAC, classé Grenelle, de Beaumont-de-Lomagne. Ces onze exploitants devaient répondre à un questionnaire constitué de quatre parties: généralités sur l'exploitation agricole, économie, cultures annuelles et élevage selon le type de leurs systèmes de production (Annexe 17). Les données concernent la campagne culturale 2012-2013.

Figure 30. Photos prises lors des enquêtes de terrain (Trabelsi - Janvier 2015)

Le Bilan CORPEN[35]est utilisé pour calculer les paramètres *Gestion raisonnée de la fertilisation azotée, Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée* et *Gestion raisonnée de la fertilisation potassique*. C'est un bilan annuel qui consiste à comparer les entrées (apports) d'azote (N), du phosphore (P) ou du potassium (K) sous forme minérale et organique, avec les sorties sous forme d'exportations par les productions végétales. Il est généralement utilisé à l'échelle de l'exploitation, c'est-à-dire en calculant l'excédent d'un élément (N ou P ou K) au niveau de l'exploitation. Or, dans cette présente étude son utilisation est adaptée à l'échelle de la parcelle en calculant l'excédent de chaque élément au niveau de chaque culture. Cette adaptation est importante afin de pouvoir comparer les cultures des différents systèmes de production étudiés. Pour le calcul de ce bilan, des données concernant les quantités d'azote, de phosphore et de potassium utilisées pour la fertilisation et les exportations de ces trois éléments par les cultures sont nécessaires. Les quantités utilisées pour la fertilisation sont collectées auprès des exploitants alors que les données concernant les exportations sont fournies à partir d'une recherche bibliographique (Annexe 18). Il faut souligner que la minéralisation de l'azote et la quantité d'azote restante dans le sol du précédent cultural n'ont pas été prises en considération lors du calcul du bilan CORPEN vu le manque de données, et que ce bilan ne tient pas compte des pertes par lixiviation, érosion et ruissellement qui sont très compliquées à estimer. Le calcul des valeurs IRSA et IRTE pondérés/ha pour chaque culture a été fait automatiquement par le logiciel "EToPhy" en utilisant des fiches de traitements phytosanitaires récupérées au cours des enquêtes de terrain. Ces fiches techniques présentent les cultures, les surfaces traitées, les produits phytosanitaires utilisés, les dates de traitement, les doses appliquées et les doses homologuées.

Conclusion du chapitre VI

La transition vers des systèmes de production agroécologique constitue une alternative à l'usage des pesticides chimiques. La performance de cette transition doit être évaluée afin de pouvoir comparer plusieurs exploitations, intervenir et recommander des scénarios d'amélioration s'il le faut. Cette évaluation peut être faite sur les trois échelles agro-environnementale, sociale et économique à l'aide d'un nouvel outil de diagnostic, d'évaluation et d'aide à la décision basé sur vingt-quatre indicateurs de pression et d'impact répartis en cinq enjeux: environnement, protection de la culture, santé, société et économie. Contrairement aux méthodes classiques d'évaluation de la durabilité agricole, cet outil est rigoureux, adapté aux conditions spécifiques des systèmes de production et des territoires, et tient compte des spécificités des systèmes agricoles biologiques et ceux en transition agroécologique. Afin de vérifier sa pertinence et son adaptation, et de valider ses indicateurs, l'outil développé dans ce présent travail de recherche est testé sur onze exploitations agricoles dont la plupart sont engagées dans une démarche agro-environnementale de réduction progressive des traitements phytosanitaires dans le cadre d'un projet CASDAR "Post-MAET Gimone". Les résultats, leurs discussions et analyses font l'objet de la troisième partie de cette thèse de doctorat.

[35] Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

L'apparition des problèmes environnementaux et sanitaires a poussé les différents acteurs à rechercher un nouvel équilibre permettant à la fois la durabilité de l'agriculture et de l'exploitation agricole. En se basant sur des enjeux environnementaux, économiques et sociaux, l'approche agroécologique s'insère parfaitement dans la durabilité. Elle prend en considération les dimensions multifonctionnelles de l'agriculture durable et permet de progresser vers plusieurs objectifs de développement durable. En s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes, les exploitations agroécologiques sont capables de répondre aux besoins alimentaires et de respecter l'environnement et la santé humaine. La durabilité de l'exploitation résulte des liens que cette dernière entretient avec son environnement, à savoir le lien économique, le lien social et le lien écologique. Par conséquent, l'évaluation de la durabilité et/ou de la performance agroécologique au niveau de l'exploitation agricole doit se faire sur trois échelles: économique, sociale et écologique (ou environnementale). Plusieurs méthodes d'évaluation ont donc été mises en place. Elles permettent de situer les points forts et les points faibles des systèmes de production afin d'y prévoir les recommandations d'intervention et les scénarios d'amélioration nécessaires. Certaines méthodes cherchent à évaluer l'aspect environnemental uniquement alors que d'autres outils visent la durabilité dans sa globalité où les trois aspects environnemental, social et économique sont évalués.

Cependant, la littérature révèle un manque d'outils d'évaluation génériques qui tiennent compte des spécificités du changement des systèmes de production et de leur passage à l'agroécologie. En effet, les résultats de test de trois méthodes classiques IDEA, RAD et DIALECTE sur trois exploitations biologiques situées dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme de la région Auvergne-Rhône-Alpes en France, ont montré que ces méthodes d'évaluation classiques et statiques s'intéressent essentiellement aux exploitations agricoles conventionnelles et ne prennent pas en compte les spécificités des systèmes agricoles biologiques et agroécologiques. Elles apparaissent donc peu adaptées pour l'évaluation de la performance des exploitations biologiques et celles en transition agroécologique. D'où l'objectif de mettre en place un nouvel outil spécifique d'aide à la décision permettant de diagnostiquer, d'évaluer la performance du processus de transition agroécologique et d'aider à la prise de décisions de manière rigoureuse et adaptée aux conditions spécifiques des systèmes de production et des territoires. Afin de vérifier sa pertinence et son adaptation, et de valider ses indicateurs, ce nouvel outil est testé dans le cadre du projet CASDAR "Post-MAET Gimone" sur onze exploitations engagées dans une démarche agro-environnementale de réduction progressive des traitements phytosanitaires depuis 2008. Les caractéristiques de la zone d'étude, des exploitations agricoles enquêtées et de leurs parcelles culturales, les résultats de calculs ainsi que leurs analyses et discussions sont présentés dans la troisième partie de ce travail de recherche.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE

Dans cette partie sont présentés la zone d'étude, les caractéristiques des exploitations agricoles étudiées et de leurs parcelles culturales, les résultats des calculs de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la transition agroécologique, leurs analyses et leurs discussions.

Dans le septième chapitre, nous identifions la zone d'étude, justifions son choix scientifique pour ce présent travail de recherche et décrivons les caractéristiques des différentes exploitations agricoles étudiées (localisation, superficie, systèmes de culture, etc.), ainsi que celles de leurs parcelles culturales (organisation dans l'espace, pente, type de sol, etc.). L'étude de ces caractéristiques et leur analyse spatiale sont nécessaires pour le diagnostic, l'évaluation du processus de transition agroécologique et le choix des pistes d'amélioration de la performance de cette transition. Nous déterminons, à la fin de ce chapitre, les motivations des différents exploitants rencontrés tout au long de ce présent travail pour la conversion biologique ou agroécologique.

Le huitième chapitre présente les résultats des calculs de la performance du processus de transition agroécologique des exploitations agricoles étudiées. Pour chaque exploitation, le calcul est fait sur trois échelles: agro-environnementale, sociale et économique. Pour les deux premières échelles, le calcul est fait sur trois niveaux: niveau *Exploitation*, niveau *Parcelle* et niveau *Global* (regroupant parcelle et exploitation). Pour l'échelle économique, le calcul ne concerne que le niveau global de l'exploitation. Les résultats sont donc présentés en respectant les mêmes échelles et niveaux.

L'analyse et la discussion des résultats obtenus font l'objet du neuvième chapitre. Les résultats des performances agroécologiques des exploitations agricoles étudiées sont comparés, des similitudes et des différences sont analysées et discutées à différents niveaux (parcelle, exploitation et global). A partir de là, des recommandations d'orientation et des pistes alternatives d'amélioration sont proposées afin d'augmenter les performances agro-environnementales, sociales et économiques des exploitations agricoles. Une comparaison entre les résultats issus de la méthode classique d'évaluation IDEA et ceux obtenus à partir du nouvel outil développé dans cette présente étude est présentée à la fin de ce chapitre. Cette comparaison permet de confirmer le premier résultat obtenu suite à la première hypothèse de ce travail de recherche selon laquelle les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité agricole sont adaptées pour évaluer la performance du processus de transition agroécologique d'une exploitation agricole, et de valider aussi la démarche méthodologique et les principes de notre nouvel outil.

CHAPITRE VII : CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Cette thèse de doctorat s'insère dans le cadre d'un projet CASDAR "Post-MAET Gimone". Ce projet s'appuie sur soixante-sept agriculteurs souhaitant poursuivre le travail débuté en 2008 avec la coopérative Qualisol dans le cadre d'une mesure agro-environnementale de réduction progressive de l'utilisation des pesticides afin d'améliorer la qualité de l'eau du BAC (Bassin d'Alimentation de Captage) de Beaumont-de-Lomagne classé Grenelle. L'objectif principal de ce projet est de maintenir une bonne performance économique durable des exploitations agricoles tout en valorisant des actions en faveur de la démarche agroécologique et en réduisant l'impact de l'agriculture sur l'environnement. Pour cela, cinq actions ont été prévues: *1)* la valorisation des productions issues des exploitations engagées dans une démarche agroécologique basée sur des rotations allongées; *2)* la diminution et l'optimisation de l'utilisation des produits phytosanitaires par des techniques innovantes; *3)* la sensibilisation au changement par l'utilisation de nouveaux indicateurs en complément de l'IFT; *4)* l'amélioration de l'efficience de la fertilisation azotée et *5)* la mise en place des techniques culturales et des infrastructures paysagères limitant le ruissellement des eaux. Dans ce contexte, notre outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique est testé en utilisant les données de onze exploitants qui ont accepté d'être enquêtés dans le cadre de ce projet et dont la plupart sont engagés dans une MAE de réduction progressive des traitements phytosanitaires depuis 2008. Le choix de ces exploitants a été fait en fonction de leur disponibilité pendant la période des enquêtes (janvier 2015 et 2016). En outre, afin de vérifier la pertinence de notre outil, nous avons choisi de le tester sur les deux types d'exploitations, conventionnelle et biologique.

7.1. Localisation et problématiques de la zone d'étude

Le territoire du projet s'étend sur une partie du BAC prioritaire Grenelle de Beaumont-de-Lomagne qui représente 12 000 ha. Beaumont-de-Lomagne est une commune du Sud-Ouest de la France. Elle est située en Lomagne dans le département du Tarn-et-Garonne (82) en région Occitanie, à la limite administrative du département du Gers, à 45 km de Toulouse (sud-est) et d'Auch (sud-ouest), et à 35 km de Montauban (nord-est)[36]. Le projet concerne le bassin versant de la Gimone situé en amont du captage Grenelle de Beaumont-de-Lomagne. Ce captage est installé pour récupérer les eaux de surface destinées à la production d'eau potable (Figure 31).

Le projet a été mis en place afin de répondre à des enjeux majeurs au niveau de cette zone. La contamination des eaux par les matières actives et les nitrates ainsi que l'érosion et le ruissellement constituent les principales problématiques de ce territoire. Les résultats des analyses de l'eau brute de la Gimone[37] à Beaumont-de-Lomagne en 2009, 2010 et 2011 montrent des problèmes de pollutions phytosanitaires et de transfert des nitrates. La teneur en pesticides de l'eau brute au niveau du captage

[36] *http://www.cartesfrance.fr/carte-france-ville/82013_Beaumont-de-Lomagne.html*

[37] Une rivière du sud de la France qui coule dans les départements des Hautes-Pyrénées, du Gers, de la Haute-Garonne et de Tarn-et-Garonne. C'est un affluent direct de la Garonne, fleuve principalement français prenant sa source en Espagne et qui coule sur 647 km avant de se jeter dans l'océan Atlantique.

est en dessous de la norme de 2µg/l. Par contre, elle est au-dessus de la norme pour une eau potable (0,1µg/l par matière active et 0,5µg/l pour la somme totale des pesticides) après traitement. Les teneurs en nitrate sont ponctuellement supérieurs au seuil de potabilité (50 mg/l). Le captage est également touché par des problématiques d'érosion et de turbidité. La zone présente en effet une vulnérabilité intrinsèque principalement à cause de la pente moyenne à forte de certaines parcelles. Les problèmes de ruissellement sont fréquents au printemps pour les cultures d'été, créant des ravines, entrainant la terre dans les fossés, les routes et les cours d'eau. Cependant, suite à la démarche progressive de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires menée par le projet depuis 2008, des analyses de l'eau brute de la Gimone à Beaumont-de-Lomagne effectuées en 2013 révèlent une diminution du nombre de détection de matières actives en 2013[38].

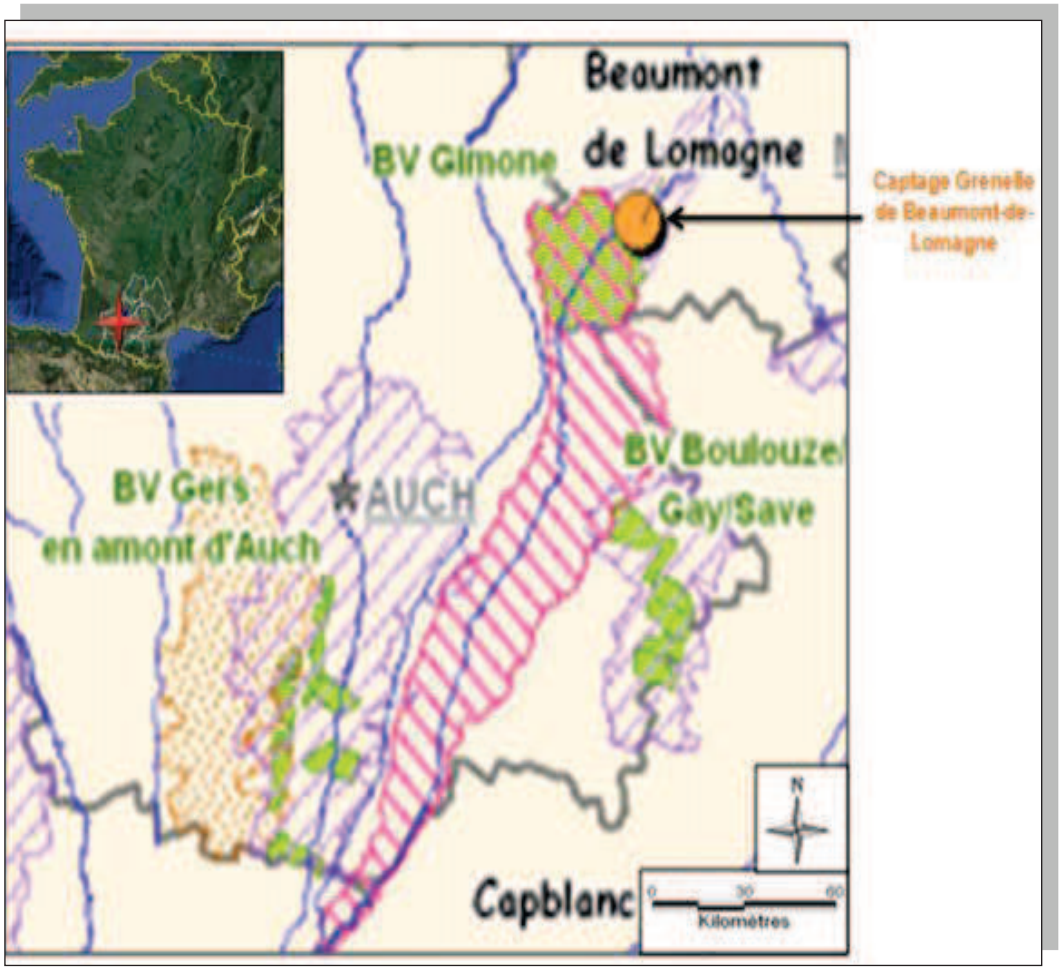


Figure 31. Territoire du projet "Post-MAET Gimone": Extrait de la carte des captages prioritaires Grenelle en Midi-Pyrénées avec leurs enjeux et l'état des actions d'ores et déjà engagées (Agence de l'Eau Adour-Garonne, DRAAF et SRDOTR 2010)[39]

[38] CASDAR-Appel à projets « Mobilisation collective pour l'agroécologie » (2013). Dossier de candidature – Document 2. Présentation technique du projet.

[39] *https://www6.inra.fr/psdr-midi-pyrenees/content/download/4052/41762/version/1/file/110201_Captage_cle8281d6.pdf.*

Notre zone d'étude s'étend sur dix-neuf communes appartenant aux deux départements Tarn-et-Garonne (82) et Gers (32) de la région Occitanie au Sud-Ouest de la France (Figure 32).

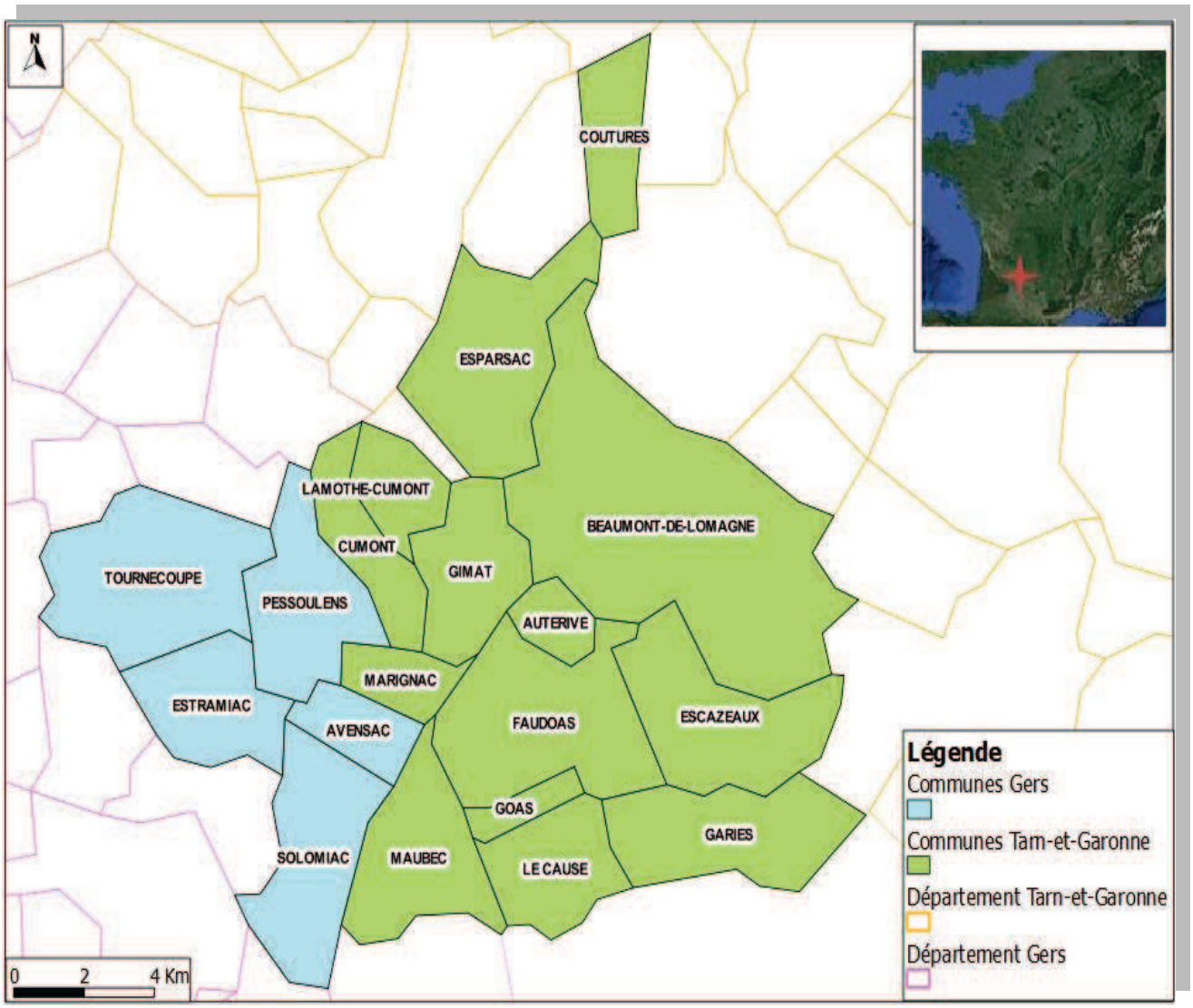


Figure 32. Localisation des communes de la zone d'étude (BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Les exploitations agricoles enquêtées sont au nombre de onze: huit d'entre elles (leurs sièges) se situent dans six communes du département Tarn-et-Garonne et trois dans trois communes du département du Gers (Figure 33).

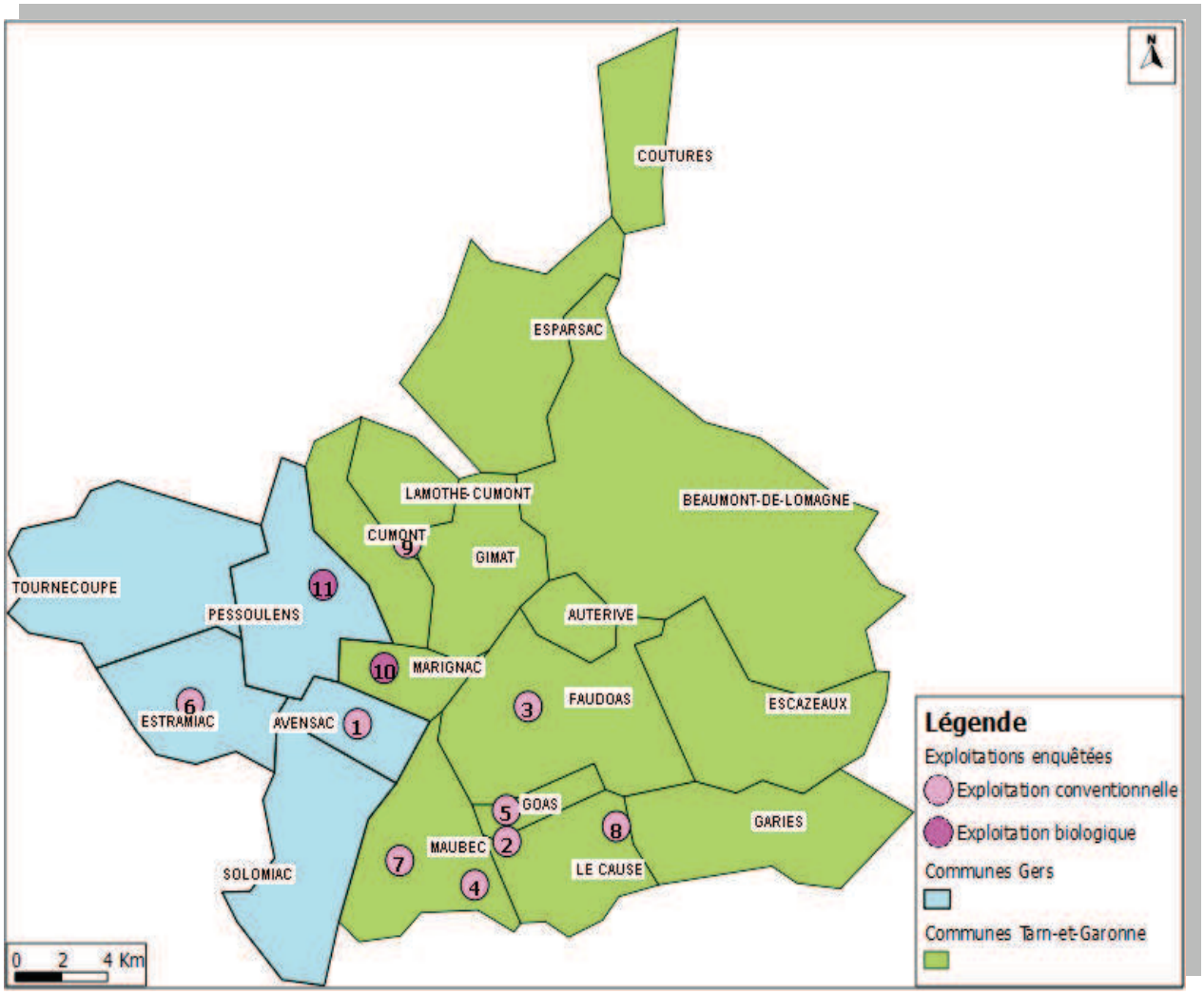


Figure 33. Localisation des exploitations agricoles enquêtées (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

7.2. Description des exploitations agricoles enquêtées

7.2.1. Caractéristiques générales

Onze exploitations ont été enquêtées pour la campagne culturale 2012-2013: neuf exploitations conventionnelles (exploitations 1 à 9) engagées dans une démarche MAE de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires et deux exploitations biologiques (exploitations 10 et 11). En ce qui concerne le statut juridique, trois exploitations sont des entreprises individuelles familiales, cinq sont des EARL (Entreprise Agricole à Responsabilité Limitée) et trois sont des GAEC (Groupement Agricole d'Exploitation en Commun). La polyculture et la polyculture-élevage sont les principaux systèmes de production présents dans notre échantillon: la polyculture caractérise sept exploitations alors que les quatre exploitations restantes se distinguent par l'association cultures et élevage. Par rapport aux productions végétales, il n'y a que les cultures annuelles avec une dominance céréalière (blé, orge, maïs, avoine, épeautre, triticale et sorgho) et oléo-protéagineuse (tournesol oléique, colza, soja, lin, lentille, haricot et pois chiche). Deux élevages marquent notre échantillon: bovins et canards (Tableau 12).

Tableau 12. Caractéristiques générales des exploitations agricoles enquêtées (Enquêtes de terrain 2015-2016)

Exploitations	Statut juridique	Superficie (ha)	Systèmes de production	Productions	Cultures
1	Individuelle	59,34	Polyculture	Cultures annuelles	Blé dur d'hiver & Blé tendre d'hiver & Orge d'hiver fourrager & Colza & Tournesol
2	Individuelle	45,27	Polyculture	Cultures annuelles	Blé tendre d'hiver & Orge & Mais grain & Tournesol & Ail
3	GAEC	57,84	Polyculture	Cultures annuelles	Blé dur d'hiver & Blé tendre d'hiver & Triticale & Tournesol
4	EARL	109,97	Polyculture-Elevage	Cultures annuelles Prairies Elevage	Blé dur d'hiver & Blé tendre d'hiver & Tournesol & Colza & Mais grain
5	EARL	85,47	Polyculture-Elevage	Cultures annuelles Elevage	Blé tendre d'hiver & Orge d'hiver & Triticale & Tournesol & Colza & Mais grain & Ail
6	EARL	75,44	Polyculture	Cultures annuelles	Blé tendre d'hiver & Mais grain & Tournesol & Colza
7	EARL	158,76	Polyculture	Cultures annuelles	Blé tendre d'hiver & Mais grain & Ogre d'hiver & Colza & Tournesol & Sorgho grain
8	GAEC	144,53	Polyculture-Elevage	Cultures annuelles Elevage	Blé tendre d'hiver & Triticale & Colza & Tournesol & Mais grain
9	GAEC	110,22	Polyculture-Elevage	Cultures annuelles Prairies Elevage	Blé dur d'hiver & Blé tendre d'hiver & Triticale & Colza & Tournesol & Soja
10 (BIO)	EARL	87	Polyculture	Cultures annuelles Prairies	Blé tendre d'hiver & Grand-Epeautre & Avoine de printemps & Soja & Mais & Lentille & Ail & Haricot & Pois chiche & Lin non textile
11 (BIO)	Individuelle	65	Polyculture	Cultures annuelles Prairies	Blé tendre d'hiver & Petit-Epeautre & Soja & Lin non textile

Bien qu'elle ne soit pas toujours dominante du point de vue superficie, la culture du blé tendre d'hiver est la seule culture présente dans toutes les exploitations de notre échantillon. Elle possède la part la plus élevée de la SAU des exploitations 4, 5, 6, 7, 8 et 10 avec 32%, 43,5%, 46,6%, 37,6%, 40,3% et 29,9% respectivement. Pour le reste des exploitations, en revanche, la culture la plus significative est autre: par exemple le tournesol oléique présente 27,8 % de la SAU de l'exploitation 1, 44% de la SAU de l'exploitation 3 et 23,5% de la SAU de l'exploitation 9. La présence des bandes enherbées et/ou des surfaces en gel annuel au sein de toutes les exploitations agricoles prouve leur phase transitoire vers l'agroécologie (Tableau 13).

Tableau 13. Répartition de la SAU des exploitations agricoles enquêtées (en %) (Enquêtes de terrain 2015-2016)

	Exploitations agricoles										
Cultures	**Exp 1**	**Exp 2**	**Exp 3**	**Exp 4**	**Exp 5**	**Exp 6**	**Exp 7**	**Exp 8**	**Exp 9**	**Exp 10**	**Exp 11**
Blé tendre d'hiver	21,8	20,8	36,7	32	43,5	46,6	37,6	40,3	22,6	29,9	6,9
Blé dur d'hiver	14		12,9	8					20,7		
Orge d'hiver	12,8	31			3,7		10,1				
Mais grain		17,1		8,6	18,6	6,6	4,9	33		5,5	
Tournesol oleique	27,8	21,7	44	20,9	17,6	23,8	28,5	7,2	23,5		
Colza semences	16,7			12,4	7,4	14,8	13	9,1	8,3		
Triticale			5,3		1,9			4,6	5,2		
Sorgho grain							2,6				
Soja									9,5	17,5	33,1
Avoine										0,6	
Ail		5,1			1,9					1,5	
Grand-Epeautre										7,1	
Petit-Epeautre											19,5
Lentille										2,6	
Haricot										1,1	
Pois chiche										5,3	
Lin non textile										14	16,2
Prairies permanentes				4,1					3,3		5,54
Prairies temporaires				0,6					0,5	10,1	2,32
Fourrage				12,5							
Gel annuel	6,8	3,9	1,1		2,6	4,4	0,4	3,2	0,5	3,89	0,77
Bandes enherbées		0,3		0,9	2,9	3,8	2,9	2,5	2,7		

Le diagnostic global d'une exploitation agricole permet de connaitre ses forces, ses faiblesses, ses performances agro-environnementales, technico-économiques et son processus de fonctionnement. Il nécessite alors une description complète des éléments essentiels de l'exploitation agricole. Puisque chaque exploitation est composée de plusieurs parcelles culturales, la réussite de ce diagnostic se base donc sur la connaissance des caractéristiques de ces parcelles. Cette connaissance permet d'évaluer la performance de l'exploitation agricole et d'orienter les choix au cours de la proposition des pistes d'amélioration.

7.2.2. Caractéristiques des parcelles culturales

Notre échantillon est composé de 311 parcelles (Figures 34 et 35). Leurs différentes caractéristiques sont issues des enquêtes de terrain et rassemblées dans une base de données "générale". Cette base présente alors les caractéristiques des exploitations agricoles et de leurs parcelles: les îlots et les parcelles, donc les cultures de chaque exploitation agricole, leurs superficies, les rendements, les quantités utilisées d'azote, de phosphore et de potassium pour la fertilisation, et d'autres critères (type de sol, irrigation et pente). A ces données, les valeurs IFT, IRSA et IRTE, calculées par culture et par hectare à partir des itinéraires techniques, ont été rajoutées uniquement pour les exploitations conventionnelles suite à l'utilisation de pesticides chimiques (Annexe 19). Le type de sol, l'irrigation, la pente et les valeurs IFT, IRSA et IRTE pondérés/ha sont toutes des caractéristiques sur lesquelles est basé notre outil d'aide à la décision. Leur analyse spatiale permet d'aider l'orientation des décideurs (conseillers, agriculteurs, etc.) vers des choix précis pour améliorer les performances de l'exploitation agricole. L'ordre de présentation de ces différentes caractéristiques ne reflète pas une hiérarchisation ou une priorité particulière, mais suit simplement la structure du rapport.

Figure 34. Photos de deux parcelles culturales prises lors des enquêtes de terrain (Trabelsi, 2015)

7.2.2.1. Localisation géographique

Les parcelles culturales d'une même exploitation peuvent se trouver dans différentes communes. En effet, les 311 parcelles des exploitations enquêtées sont éparpillées sur dix-neuf communes au total (Figure 35). Par souci d'une meilleure lisibilité, la figure 36 situe plus précisément les parcelles culturales de quatre exploitations enquêtées pour en montrer l'éclatement et la dispersion territoriales.

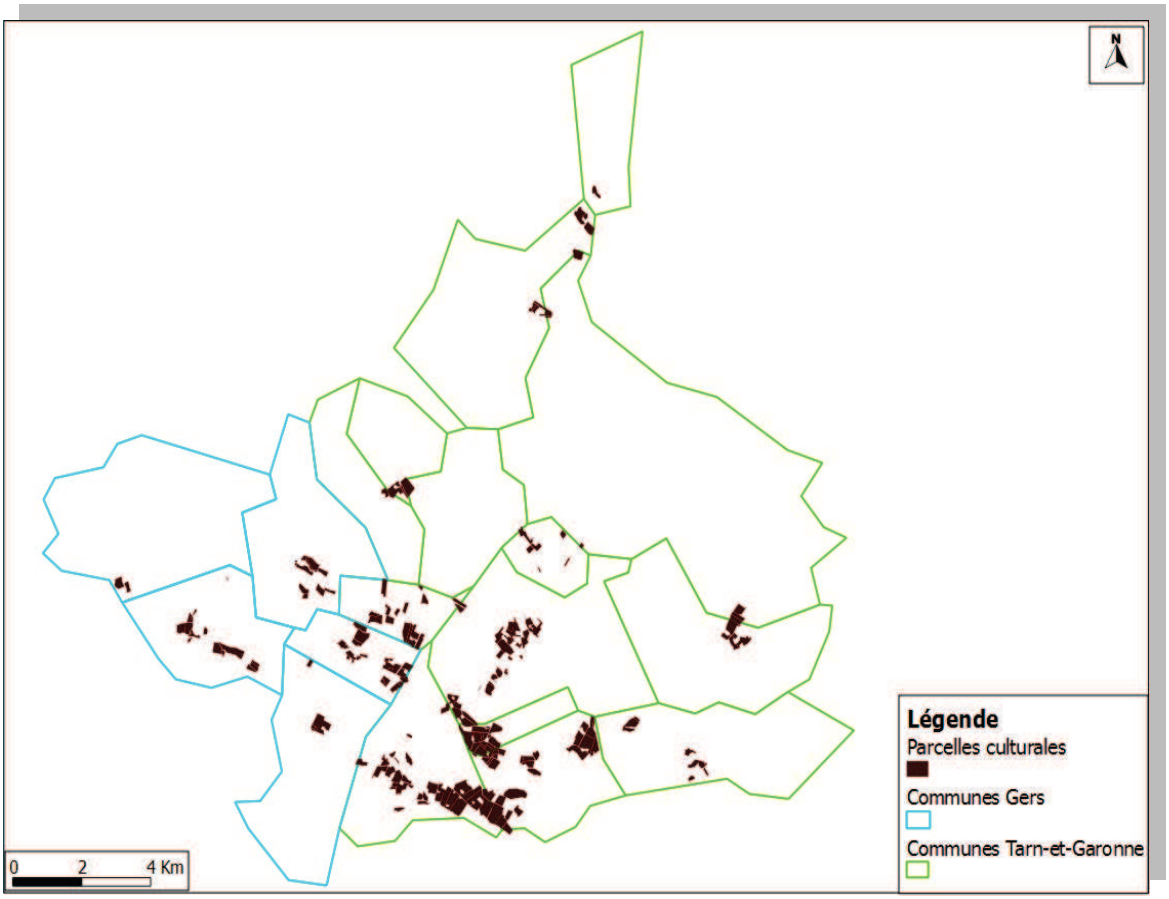


Figure 35. Localisation des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

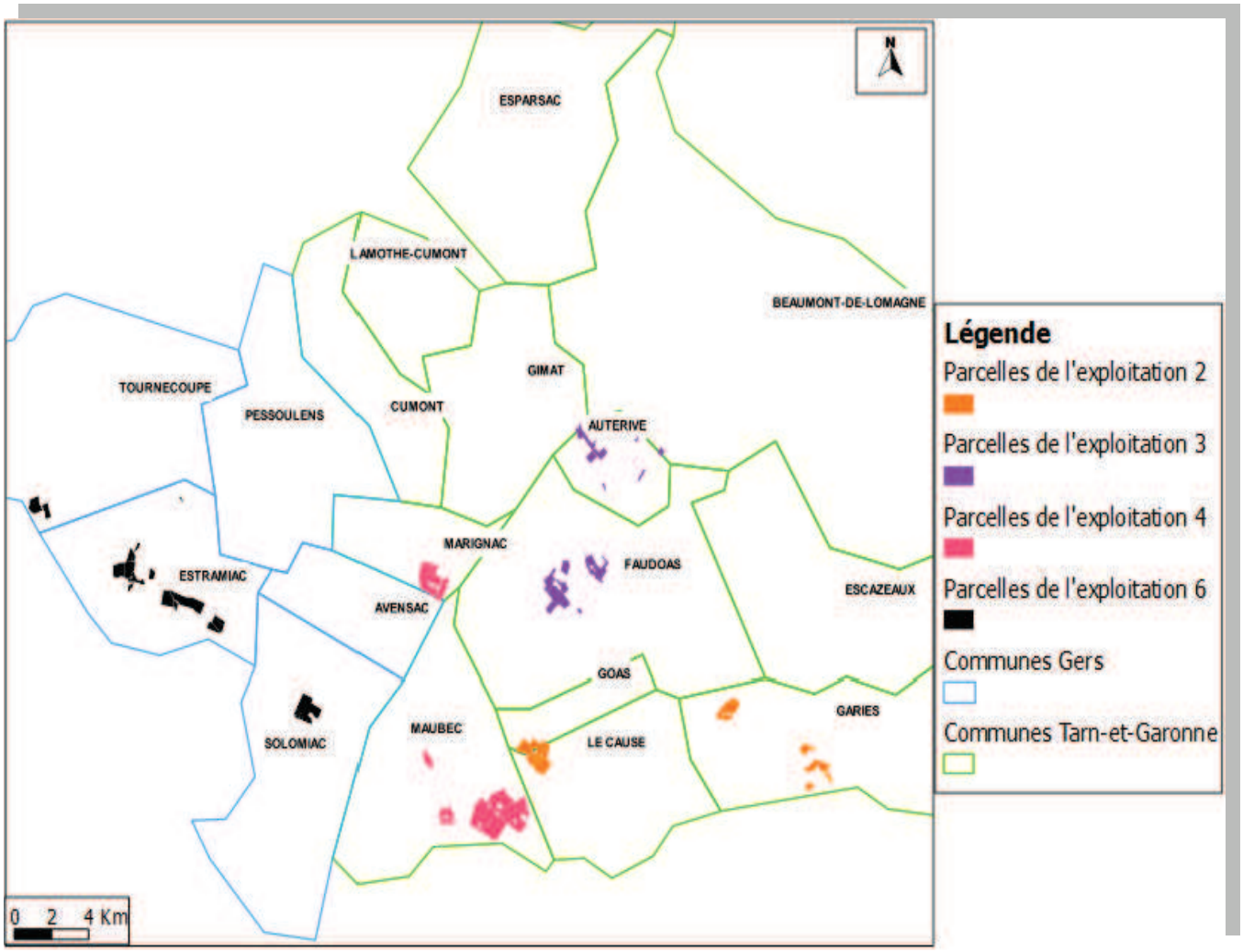


Figure 36. Localisation des parcelles culturales des exploitations 2, 3, 4 et 6 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Il est difficile de cartographier lisiblement l'ensemble des caractéristiques (type de sol, irrigation, pente, IFT, IRSA et IRTE pondérés/ha) de toutes les parcelles culturales étudiées en raison de leur nombre et de leur dispersion territoriale. Pour cela, la représentation cartographique des différentes caractéristiques ne concerne qu'une partie des parcelles. En effet, le zoom a été fait à chaque fois sur les mêmes communes dont les parcelles sont les plus regroupées.

7.2.2.2. Types de sols

D'après les enquêtes de terrain nous avons pu déterminer les types de sol des différentes parcelles culturales. La plupart d'entre elles (35%) possèdent un sol argilo-calcaire. Les terreforts (sols argileux) et les boulbènes (sols composés principalement d'argile et de sable) sont également fortement présents avec 28% et 20% respectivement alors que les sols argilo-boulbènes ne représentent que 2%. Certaines parcelles se caractérisent par la présence de deux types de sols: 3/4 argilo-calcaire et 1/4 argilo-boulbène (8%); 3/4 terrefort et 1/4 boulbène (4%), et 3/4 terrefort et 1/4 sableux (1%) (Annexe 20.1). Nous illustrons les types de sols d'une partie des parcelles culturales dans la figure 37.

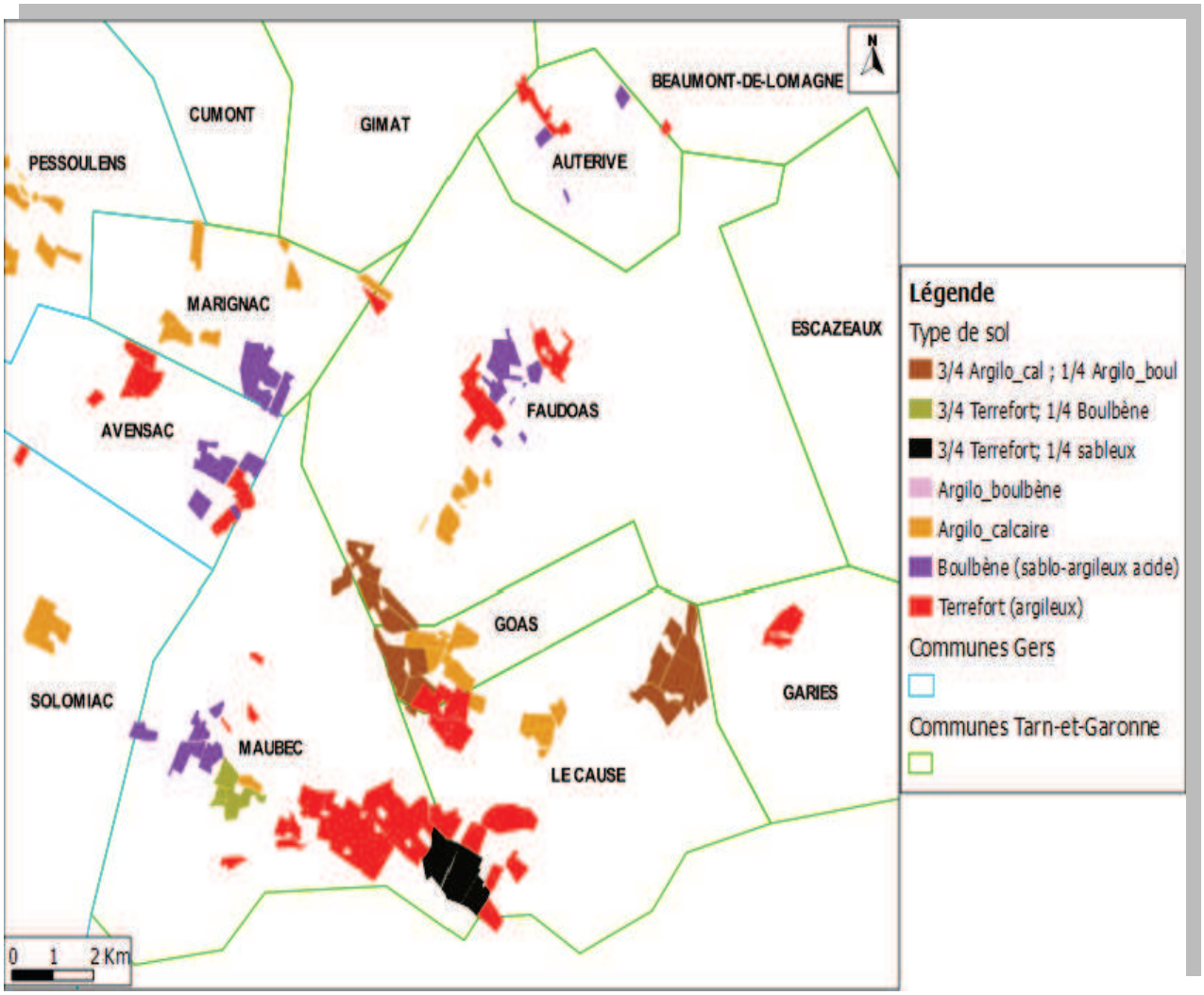


Figure 37. Types de sols de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

7.2.2.3. Irrigation

La plupart des parcelles culturales (63%) sont des parcelles non irrigables. Autrement dit, elles ne sont pas susceptibles d'être irriguées (Annexe 20.2). La présence des parcelles non irrigables ne signifie pas que l'exploitant ne pratique pas l'irrigation. En effet, deux exploitants seulement (1 et 2) n'irriguent pas leurs cultures et ne possèdent pas de parcelles irrigables. Contrairement aux autres exploitations, c'est seulement au niveau de l'exploitation 8 que toutes les parcelles sont irrigables. La figure 38 montre l'exemple de quelques parcelles culturales.

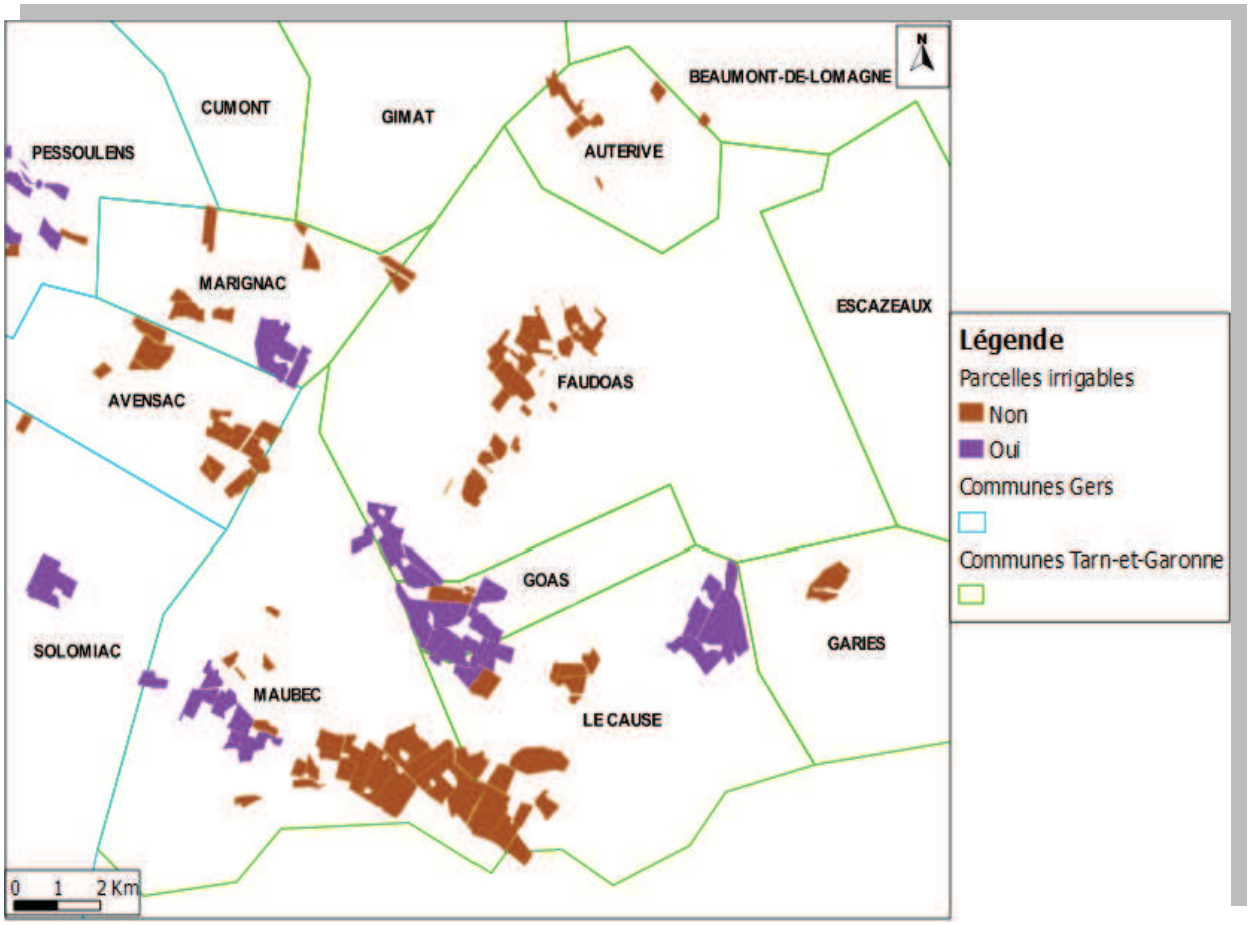


Figure 38. Répartition de quelques parcelles culturales irrigables et non irrigables (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Le maïs, l'ail et le soja sont les seules cultures à être irriguées. Pour cette irrigation, la plupart des exploitants utilisent des asperseurs alors que d'autres ont recours à des enrouleurs, à des canaux ou à une irrigation localisée. Le lac de la Gimone est la seule ressource pour prélever l'eau nécessaire à l'irrigation (Figure 39). C'est le plus grand lac du Gers avec 250 hectares de superficie et 6 km de long en partie sur la Haute-Garonne[40] également.

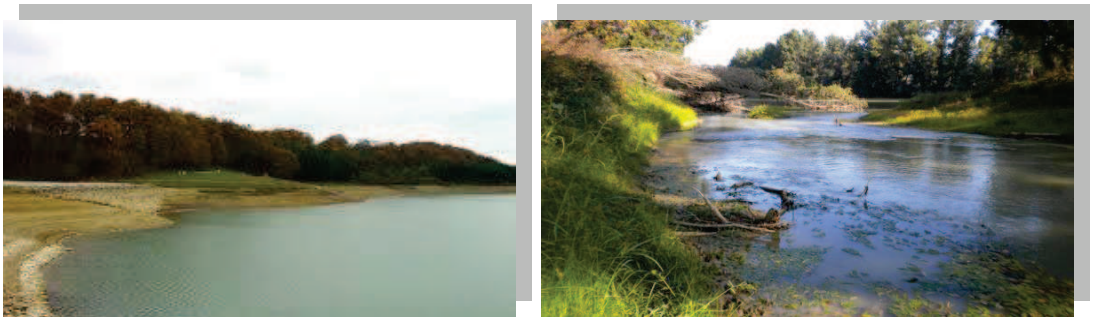


Figure 39. Le lac de la Gimone (Trabelsi, 2015)

[40] *http://www.lac-de-la-gimone.fr*

Les onze exploitations agricoles enquêtées se situent dans deux bassins versants hydrographiques, à savoir le bassin versant de la Gimone (726 km2) et le bassin versant de l'Arrats (620 km2) (Figure 40).

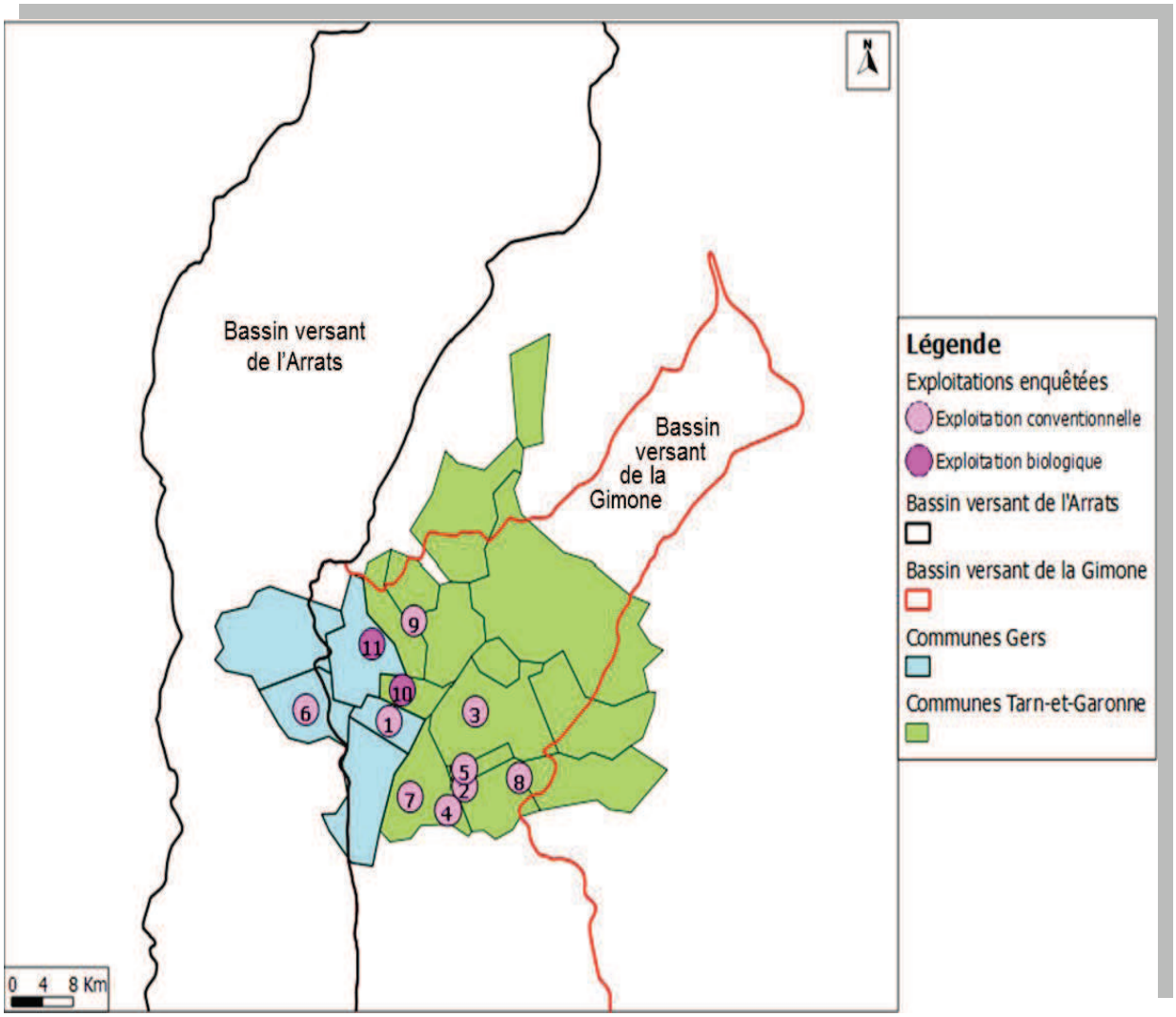


Figure 40. Bassins versants délimitant la zone d'étude (BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Le bassin versant de la Gimone se situe à environ 60 km à l'ouest de Toulouse. La Gimone, sa rivière, prend sa source au lieu-dit « Tuc de l'Assat » sur la commune de Villemur (65) et se jette dans la Garonne en rive gauche, sur la commune de Castelferrus (82). Elle traverse les départements des Hautes Pyrénées, du Gers, de la Haute-Garonne et du Tarn-et-Garonne (Sadjania, 2015). L'Arrats prend sa source dans les Hautes-Pyrénées pour traverser la partie Est du Gers et rejoindre la Garonne dans le département du Tarn-et-Garonne (Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arrats, 2015). Les deux rivières la Gimone et l'Arrats sont alimentées par le système Neste. C'est un complexe hydraulique composé de 17 rivières artificiellement réalimentées et largement interconnectées. La dynamique de l'irrigation dans la région d'étude est basée sur le canal de la Neste. Inauguré en 1862, long de 29 kilomètres, ce canal dérive par gravité les eaux s'écoulant dans la rivière Neste (Figure 41) (Villocel *et al.*, 2010).

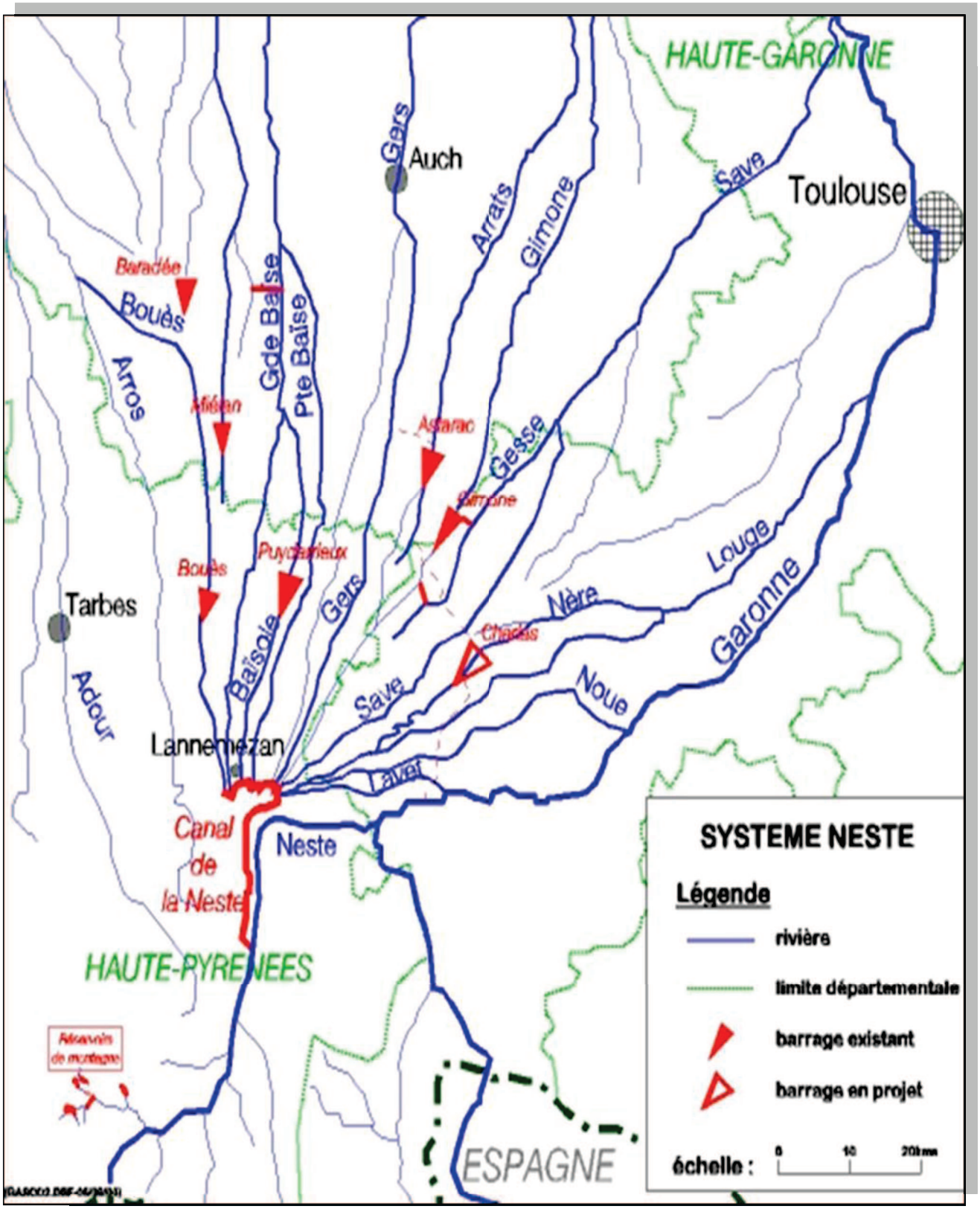


Figure 41. Le système Neste[41]

[41]https://www.google.fr/search?q=syst%C3%A8me+Neste&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiQu8qFq-DUAhUJ7RQKHUjHA6sQsAQITA&biw=1280&bih=918#imgrc=50MFUtqKQ6R6PM:

7.2.2.4. Pente

Le pourcentage de pente permet de décrire le relief en exprimant le rapport entre la dénivellation et la distance horizontale (mesure prise sur la carte). Par exemple, une pente de 5% correspond à une dénivellation de 5 mètres sur une distance horizontale de 100 mètres. Pour cette présente étude, trois groupes de pentes ont été distingués: pente *faible* (ou terrain plat) quand elle est inférieure à 5%, pente *moyenne* quand elle est comprise entre 5% et 15% et pente *forte* quand elle dépasse 15%. Les enquêtes montrent que 49% des terrains sont plats, 46% se caractérisent par une pente moyenne et les terrains à pente forte ne représentent que 5% de la somme des parcelles culturales (Annexe 20.3). La figure 42 illustre l'exemple de quelques parcelles culturales.

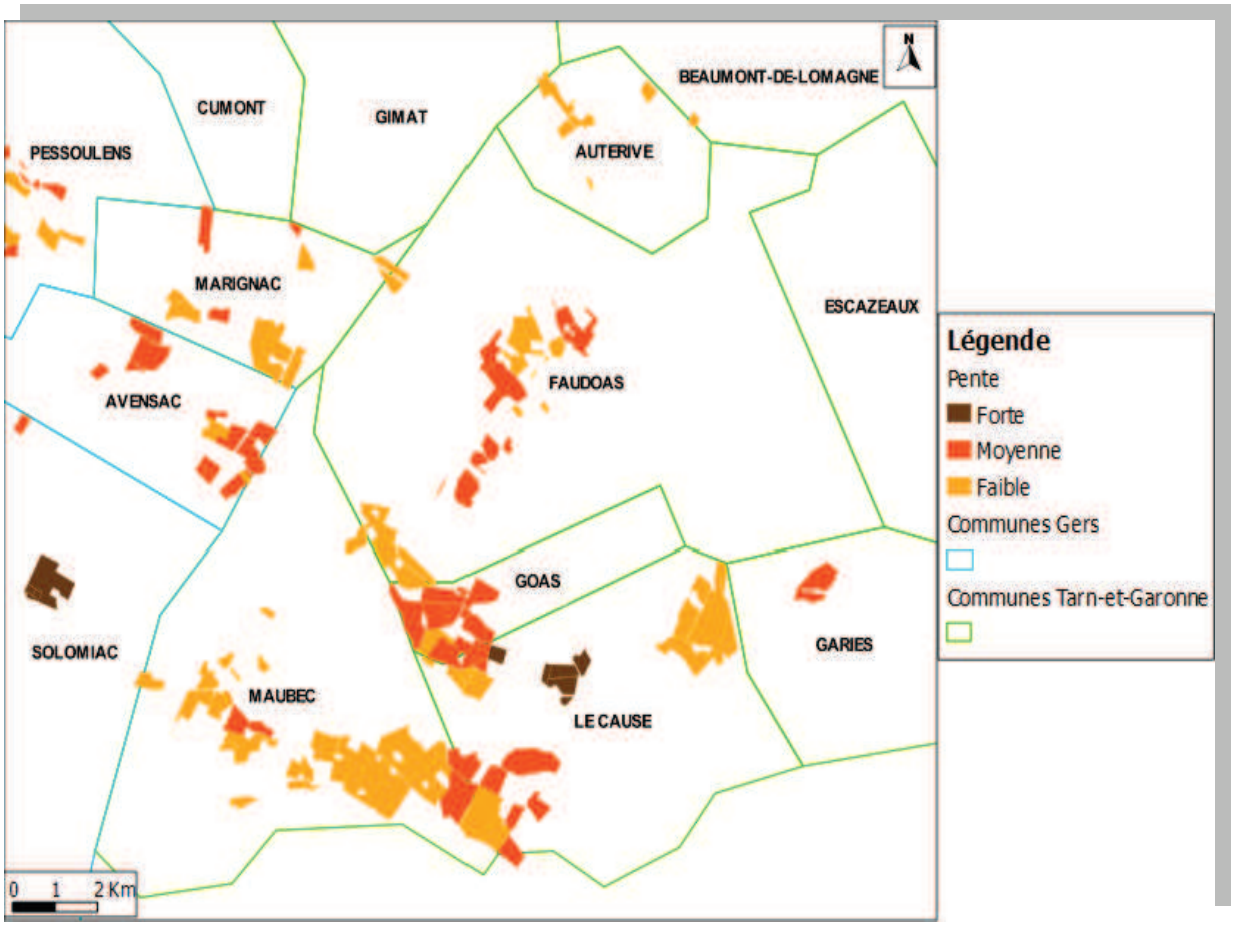


Figure 42. Pente de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

7.2.2.5. Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) & Indicateurs de risque de toxicité (IRSA et IRTE)

Les valeurs IFT, IRTE et IRSA pondérés à l'hectare des parcelles culturales sont nécessaires pour l'évaluation du processus de transition agroécologique car elles font partie des paramètres de notre outil d'évaluation et d'aide à la décision. Chaque culture, installée sur une ou plusieurs parcelles, se caractérise par des IFT, IRTE et IRSA bien déterminés. Afin de faciliter alors la comparaison entre

toutes les parcelles culturales et leur analyse spatiale, QGIS (logiciel SIG utilisé dans ce travail de recherche) nous permet de regrouper les valeurs IFT, IRTE et IRSA pondérés à l'hectare selon cinq classes à effectifs égaux. Chaque classe représente 20% de la somme totale des valeurs.

- ***IFT pondéré/ha***

La valeur minimale d'IFT pondéré/ha est égale à 0,7 alors que sa valeur maximale est de 10,5 (Annexe 20.4). La figure 43 illustre l'exemple de classification des IFT pondérés/ha de quelques parcelles culturales. La variation au niveau des valeurs de cet indicateur est due aux doses appliquées par produit phytosanitaire et au nombre de passages effectués par chaque exploitant. La valeur minimale d'IFT pondéré/ha est observée au niveau de la culture du maïs grain de la première parcelle de l'îlot 16-A de l'exploitation 5. Au niveau de cette exploitation, le maïs grain présente les valeurs d'IFT pondérés/ha les plus faibles par rapport aux autres cultures car il est le seul à traiter avec deux produits phytosanitaires au maximum. La valeur maximale d'IFT pondéré/ha correspond au colza semences qui occupe la première parcelle de l'îlot 8 de l'exploitation 9. Au niveau de cette exploitation, les valeurs d'IFT pondérés/ha du colza semences sont largement supérieures aux autres. En effet, l'exploitant 9 utilise neuf produits phytosanitaires pour traiter cette culture au moment où le nombre de produits appliqués sur les autres cultures ne dépasse pas sept.

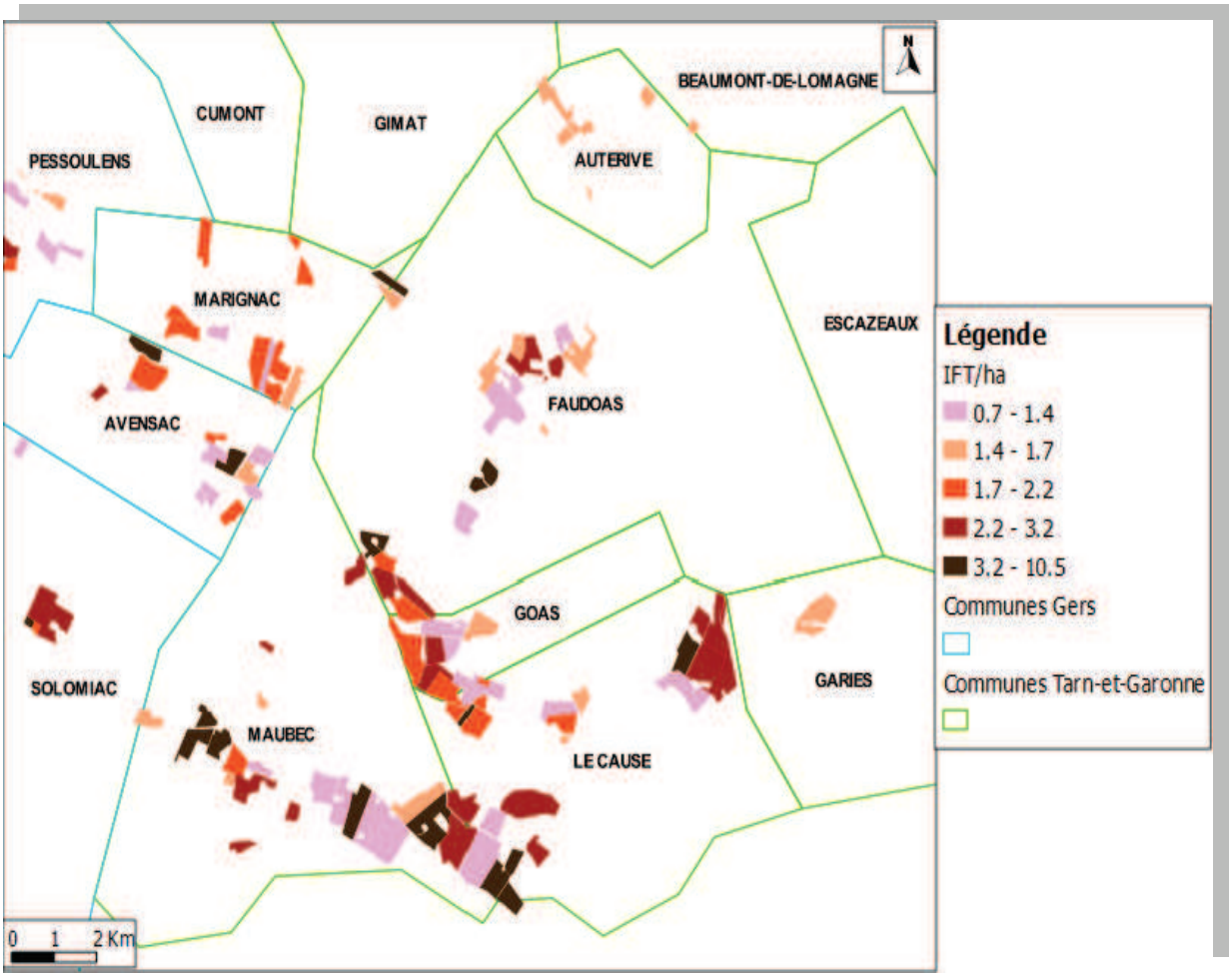


Figure 43. Classification des IFT pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

- ***IRTE pondéré/ha***

La valeur minimale d'IRTE pondéré/ha est de 127 alors que 3092 est sa valeur maximale (Annexe 20.5). La classification des IRTE pondérés/ha de quelques parcelles culturales est présentée dans la figure 44. La variation au niveau des valeurs de cet indicateur peut être expliquée par les stratégies de choix des produits phytosanitaires utilisés. La valeur minimale d'IRTE pondéré/ha correspond à la culture du tournesol oléique occupant la troisième parcelle de l'îlot 3 de l'exploitation 7. A l'exception de cette parcelle et les deux parcelles de l'exploitation 9 où un seul produit est appliqué, toutes les autres parcelles de tournesol sont traitées avec au moins deux produits phytosanitaires. L'IRTE/ha du produit EXPRESS SX appliqué à la troisième parcelle de l'îlot 3 de l'exploitation 7 est de 127 alors que les IRTE/ha des produits PULSAR 40 et ATIC AQUA utilisés par l'exploitant 9 correspondent respectivement à 144 et 256, ce qui explique la valeur minimale observée. La valeur maximale d'IRTE pondéré/ha correspond à la culture du colza semences des deux premières parcelles des îlots 5 et 6 de l'exploitation 6. Pour traiter le colza l'exploitant 8 utilise le GEOTION TX dont la valeur IRTE/ha est la plus élevée (1311), mais en revanche l'IRTE pondéré/ha le plus grand n'est pas observé au niveau de son exploitation. La valeur maximale obtenue au niveau des deux premières parcelles des îlots 5 et 6 de l'exploitation 6 est donc expliquée par le nombre de produits phytosanitaires utilisés et non pas par leurs valeurs IRTE/ha. Le colza semences est une culture exigeante en pesticides chimiques. Son traitement se fait avec au moins quatre produits phytosanitaires et un seul produit peut être utilisé plusieurs fois sur la même parcelle. Contrairement aux autres exploitants, l'exploitant 6 utilise de onze à douze produits pour traiter ses trois parcelles de colza semences, ce qui explique la valeur maximale d'IRTE pondéré/ha observée au niveau de ses deux premières parcelles des îlots 5 et 6.

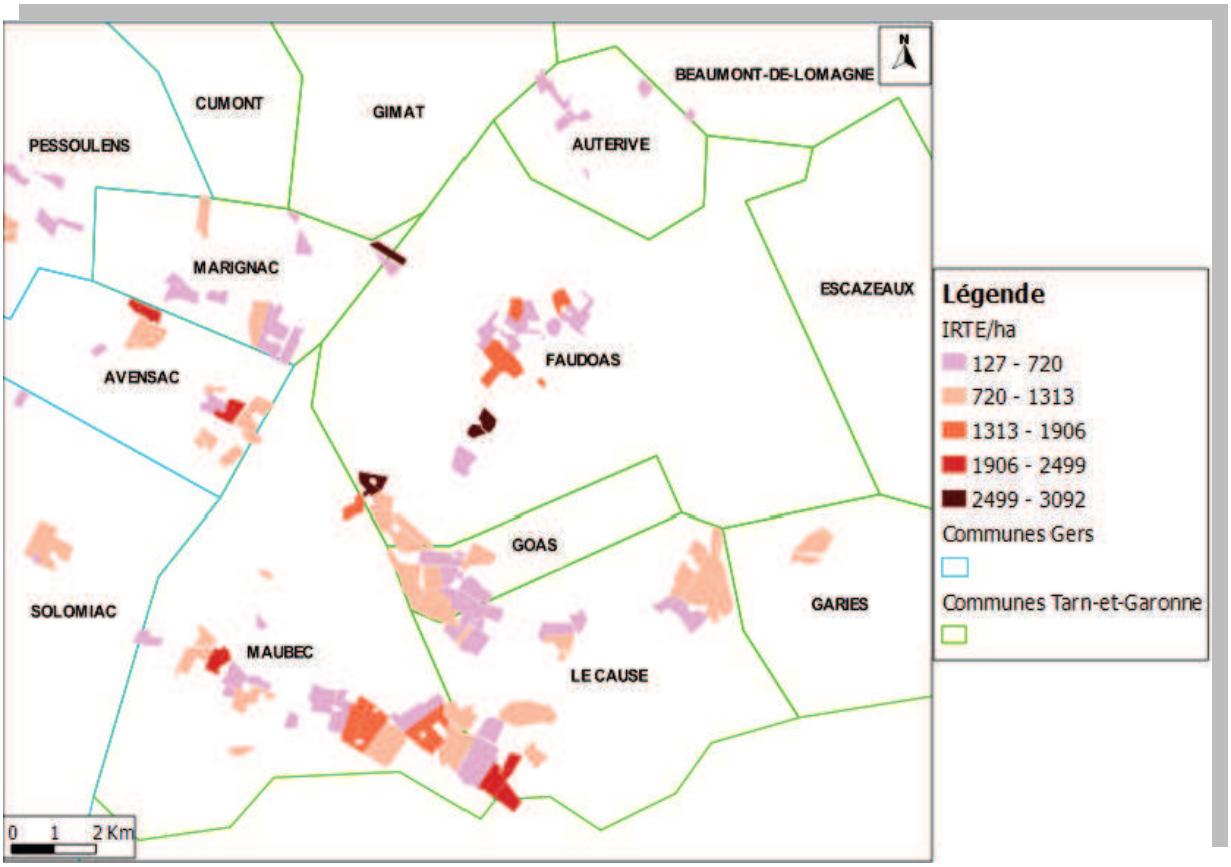


Figure 44. Classification des IRTE pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

- ***IRSA pondéré/ha***

La valeur minimale et la valeur maximale d'IRSA pondéré/ha sont respectivement de 61 et 5617 (Annexe 20.6). La classification des IRSA pondérés/ha de quelques parcelles culturales est présentée dans la figure 45. La variation au niveau des valeurs IRSA peut également être expliquée par les stratégies de choix des pesticides utilisés. La valeur minimale d'IRSA pondéré/ha correspond au tournesol oléique de l'îlot 15 et des deux premières parcelles des îlots 22 et 23 de l'exploitation 9. L'exploitant 9 est le seul à traiter les parcelles de tournesol oléique avec un seul produit phytosanitaire, contrairement aux autres qui en utilisent au moins deux. Cet unique produit utilisé (PULSAR 40) possède l'IRSA/ha le plus faible, ce qui explique la valeur minimale observée. C'est la culture du colza semences de l'exploitation 8 (troisième parcelle de l'îlot 2, deuxième et troisième parcelles de l'îlot 12) qui possède la valeur maximale d'IRSA pondéré/ha car elle est traitée avec le produit phytosanitaire (GEOTION TX) le plus toxique dont la valeur IRSA/ha est la plus élevée.

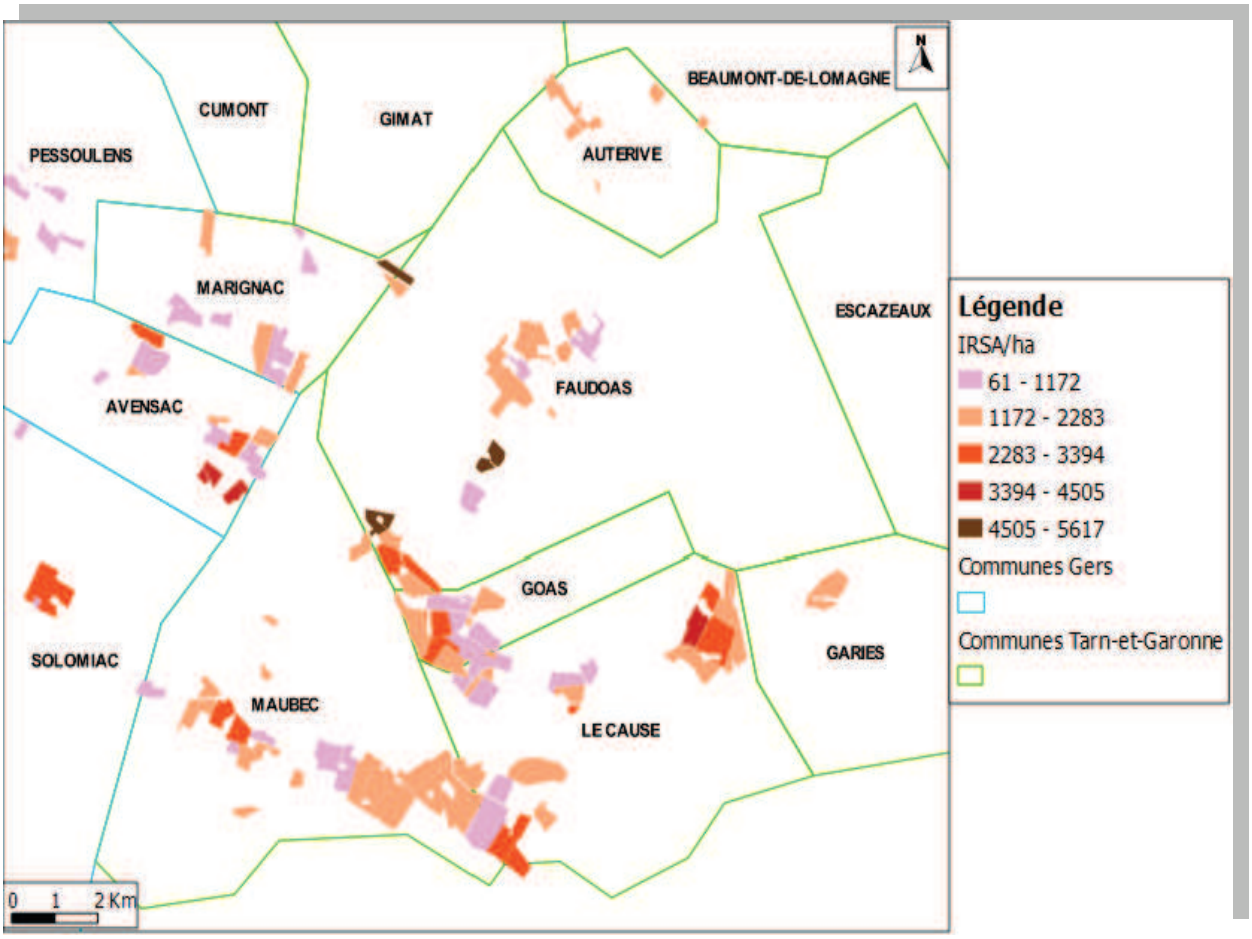


Figure 45. Classification des IRSA pondérés/ha de quelques parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Au sein de notre échantillon, les IFT, IRTE et IRSA pondérés/ha varient d'une parcelle à l'autre. Cette variation peut être observée entre les cultures de la même exploitation agricole et même entre les parcelles de la même culture d'une exploitation à l'autre. Elle est fonction des itinéraires techniques culturaux et des stratégies de choix des produits phytosanitaires. En effet, au niveau de la même

exploitation, chaque culture est caractérisée par un itinéraire technique bien déterminé (produits phytosanitaires, doses appliquées, nombre de passage, etc.). De plus, les produits phytosanitaires utilisés pour le traitement d'une même culture peuvent être différents d'une exploitation à une autre (doses, IRSA et IRTE différents).

Il est nécessaire de connaitre les caractéristiques des exploitations agricoles afin de diagnostiquer et d'évaluer le processus de transition agroécologique. Or, la transition agroécologique ne dépend pas seulement de ces caractéristiques mais aussi du facteur humain. En effet, au niveau de l'exploitation agricole, le changement et le passage à un autre mode de production s'expliquent par une ou plusieurs motivations personnelles de l'exploitant.

7.3. Motivations des exploitants

Des témoignages d'agriculteurs lors du salon des techniques bio et alternatives "tech & bio" qui s'est déroulé le 18-19 septembre 2013 à Valence, ainsi que les enquêtes menées durant cette étude nous ont permis de connaitre les différents motifs pour lesquels les exploitants ont décidé de pratiquer une agriculture biologique ou d'adopter une transition agroécologique. D'après les témoignages et les enquêtes, trois types de motivations et d'intérêts sont principalement observés lors de l'engagement dans l'agriculture biologique ou dans une démarche MAE.

Le premier profil regroupe les agriculteurs qui adhérent au mode de production biologique par intérêt économique, et plus précisément pour diminuer les charges ou pour garantir un revenu à partir des aides publiques. Ce profil est constitué d'un des trois exploitants enquêtés au début de ce présent travail dont l'exploitation est située en Ardèche et de quatre agriculteurs du salon tech & bio. En 2005, l'exploitant ardéchois s'est installé directement en bio après avoir été électricien et en récupérant l'exploitation familiale. Au départ, il avait touché 15 000 euros de dotations Jeunes Agriculteurs, 3 500 euros par an sur cinq ans après la signature du contrat d'agriculture durable et 4 800 euros par an après l'installation. Les quatre agriculteurs du salon tech & bio, installés en Picardie, Normandie, Limousin et Rhône-Alpes, sont passés de la production conventionnelle à la production biologique afin d'améliorer leur autonomie. Ils étaient conscients de la diminution des coûts de production (achats d'engrais, de pesticides et d'aliments du bétail) qu'ils pourraient réaliser en passant à un mode de production plus respectueux de l'environnement même en présence de quelques chutes de rendements, surtout durant les premières années de conversion. Car selon eux, ces chutes seront récompensées par des gains d'autonomie. Par exemple, l'agriculteur normand est passé de cinq milles euros à trois milles euros de gain pendant les deux premières années de la transition mais après 15 ans d'expérience biologique, ses rendements sont devenus stables et ses charges ont nettement baissé.

Le second profil rassemble les agriculteurs dont l'installation en agriculture biologique résulte des opportunités de nature idéologique concernant la conservation de l'environnement, de la nature et/ou de la préservation de la santé humaine. Ce sont les deux autres agriculteurs enquêtés au début de ce travail de recherche, dont les exploitations situées dans les départements de la Drôme et de l'Ardèche, ainsi que deux agriculteurs du salon tech & bio qui constituent ce profil. Après s'être installé en 1983 en agriculture conventionnelle, le premier agriculteur enquêté s'est converti en production biologique en 1996 avec quelques productions fruitières pour finir en 2002 avec des parcelles agricoles 100% biologiques. Sa conversion est due à sa prise de conscience de tous les problèmes environnementaux et sanitaires engendrés par l'utilisation des produits phytosanitaires. En traitant son maïs, un agriculteur de Franche-Comté a aperçu la dégradation du sol et la mort ou la disparition des vers de terre, ce qui

n'est pas admissible pour lui. Ce "choc", selon lui, l'a encouragé à passer au mode biologique. En revanche, c'est surtout pour des raisons sanitaires que le deuxième agriculteur enquêté de l'Ardèche s'est mis officiellement en agriculture biologique en 1985. En effet, le décès de son ami, qui était agriculteur, suite à un cancer du cerveau à cause de l'utilisation excessive des pesticides, l'a poussé à changer son mode de production. Fleuriste pendant cinq ans, une agricultrice de Haute-Garonne s'est installée en maraichage biologique avec son mari et son fils. Ce choix familial est dû au risque accru des maladies cancérigènes causées par les pesticides chimiques. Pour cette agricultrice, le bio est une aventure quotidienne.

Un intérêt marqué à la fois pour l'économie, l'environnement et la santé humaine rassemble le troisième groupe d'agriculteurs. Il est composé de onze exploitants engagés dans la démarche MAE du projet "Post MAET-Gimone". La première raison évoquée est la volonté de diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires et des nitrates afin de réduire la pollution des eaux de la Gimone à Beaumont-de-Lomagne. En outre, ces agriculteurs ne restent pas indifférents devant la nécessité de préserver leur santé et celle de leurs proches. La rentabilité économique, l'autonomie et la diminution des coûts de production sont également évoquées par ce troisième groupe d'agriculteurs. Ils se sont orientés vers une réduction des intrants pour sécuriser leurs marges brutes et ont bénéficié d'un soutien financier lors de la conversion au travers des MAE.

Malgré la différence de motivations, tous ces exploitants ont réussi à changer leur mode de production et à passer à une agriculture plus respectueuse de l'environnement et du bien-être humain et animal. Cependant, parfois la volonté de l'exploitant toute seule ne suffit pas, le changement dépend d'autres personnes. En effet, certains exploitants n'arrivent pas à suivre leurs convictions et/ou motivations personnelles de produire autrement à cause d'une mentalité différente. C'est le cas de quelques agriculteurs du salon tech & bio qui ont exprimé leur volonté de passer à l'agriculture biologique mais ils n'ont pas pu le faire car leurs parents ou grands-parents, les propriétaires d'origine de leurs exploitations familiales, ne le veulent pas. Pour eux la conversion est une prise de risque au niveau de la rentabilité de l'exploitation qu'il faut éviter bien qu'ils soient, la plupart du temps, conscients des dangers de l'utilisation de pesticides sur l'environnement et la santé. Dans certains cas, il faut d'abord réussir à changer une mentalité pour réussir à changer un mode de production.

Conclusion du chapitre VII

Ce travail de recherche s'insère dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone" dont l'objectif principal est d'améliorer la qualité de l'eau du BAC de Beaumont-de-Lomagne classé Grenelle en diminuant sa contamination par les matières actives et les nitrates. Notre outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique est testé en utilisant les données de onze exploitants qui ont accepté d'être enquêtés dans le cadre de ce projet et dont la plupart sont engagés dans une démarche MAE depuis 2008. Le choix de ces exploitants a été fait en fonction de leur disponibilité pendant la période des enquêtes (janvier 2015 et 2016). Afin de vérifier la pertinence de notre nouvel outil, nous avons choisi de le tester sur les deux types d'exploitations, conventionnelle et biologique.

Le diagnostic global d'une exploitation agricole permet de déterminer ses points forts, ses points faibles et de comprendre le processus de son fonctionnement. L'évaluation de la performance agroécologique dépend des résultats de ce diagnostic. Par conséquent, afin de réussir le diagnostic, l'évaluation du processus agroécologique et, par la suite, le choix des pistes d'amélioration de la

performance agro-environnementale et/ou sociale et/ou économique, il est nécessaire de bien connaitre les caractéristiques des exploitations agricoles (localisation, superficie, systèmes de culture, etc.) ainsi que celles de leurs parcelles culturales (organisation dans l'espace, pente, type de sol, IFT, IRTE et IRSA pondérés par hectare, etc.).

Une variation entre les valeurs IFT, IRTE et IRSA pondérés/ha est observée d'une parcelle à l'autre. Elle est fonction des itinéraires techniques et des stratégies de choix des produits phytosanitaires. Cette variation met l'accent sur la relation entre les trois indicateurs. En effet, le recours à la pression phytosanitaire seulement pour caractériser les itinéraires techniques et identifier les risques n'est pas suffisant. Le fait de diminuer la quantité des produits phytosanitaires utilisés n'entraine pas forcément la réduction des toxicités. Certains produits phytosanitaires ne possèdent pas des IFT/ha très grands, mais en revanche ils se caractérisent par des valeurs IRSA/ha et/ou IRTE/ha élevées, voire très élevées, donc ils sont toxiques pour la santé de l'applicateur et/ou pour l'environnement.

La transition vers des systèmes de production agricole plus économes en intrants et plus respectueux de l'environnement et du bien-être humain et animal ne dépend pas seulement des caractéristiques des exploitations agricoles mais également du facteur humain. Il ressort d'après les rencontres avec les différents agriculteurs et les enquêtes réalisées dans le cadre de cette présente étude, que les facteurs susceptibles d'expliquer le changement et le passage à un autre mode de production agricole sont très nombreux, qu'ils soient internes à l'exploitation (caractéristiques de l'exploitant et de l'exploitation) ou externes (contextes agricole, économique, politique et environnemental). Ces facteurs jouent sur les décisions de transition à travers une gamme importante de motivations, dépassant largement les seules motivations économiques. En effet, les décisions de transition sont liées à des variables d'attitude et d'opinion indirectement observables, comme la sensibilité aux différents problèmes environnementaux et sanitaires liés à l'usage des produits phytosanitaires. Les effets des motivations et/ou des facteurs sur les décisions sont fonction des contextes agricoles, économiques et surtout politiques, ce qui limite la transférabilité des résultats entre pays, régions et périodes.

CHAPITRE VIII : RESULTATS DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC ET D'EVALUATION DE LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE

L'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique est réalisée sur les trois échelles agro-environnementale, sociale et économique. En tenant compte de la nature des indicateurs, l'évaluation des performances agro-environnementale et sociale des exploitations étudiées est ciblée sur trois niveaux, à savoir la parcelle, l'exploitation et les deux ensembles (niveau global regroupant parcelle et exploitation), alors que la performance économique est évaluée directement au niveau global de l'exploitation. De ce fait, les résultats sont regroupés en deux groupes: des résultats aux échelles agro-environnementale et sociale, et d'autres à l'échelle économique. Les performances obtenues par rapport aux différents indicateurs ainsi que la différence des performances observée entre les exploitations et les cultures aux différentes échelles seront analysées au chapitre IX.

8.1. Résultats aux échelles agro-environnementale et sociale

En fonction de leurs paramètres qui peuvent concerner l'exploitation ou la parcelle (Annexe 7), les indicateurs des échelles agro-environnementale et sociale sont calculés au niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle.

Le calcul au niveau *Exploitation* concerne:

- ✓ Huit indicateurs de l'enjeu *environnement*: la pollution des eaux et des sols, la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, la préservation de la ressource en eau, la préservation de l'énergie et la biodiversité et ressources locales du territoire;
- ✓ Les deux indicateurs de l'enjeu *protection de la culture*: le contrôle des ravageurs et le contrôle des adventices;
- ✓ L'indicateur bien-être animal de l'enjeu *santé*;
- ✓ Les trois indicateurs de l'enjeu *société*: l'implication sociale, la sécurité nutritionnelle des produits et l'intensité et pénibilité du travail.

Alors qu'au niveau *Parcelle,* il concerne:

- ✓ Cinq indicateurs de l'enjeu *environnement*: la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE et la biodiversité et ressources locales du territoire;
- ✓ Les deux indicateurs de l'enjeu *protection de la culture*: le contrôle des ravageurs et le contrôle des adventices;
- ✓ Les deux indicateurs IRSA et bien-être animal de l'enjeu *santé*;
- ✓ L'indicateur sécurité nutritionnelle des produits de l'enjeu *société*.

Au niveau *Parcelle*, les résultats sont présentés en fonction: ***i)*** des exploitations agricoles afin de comparer les performances des différentes cultures de la même exploitation et ***ii)*** des cultures afin de comparer les performances des exploitations agricoles pour une même culture. Le calcul au niveau

Global (conjonction entre niveau *Exploitation* et niveau *Parcelle*) ne concerne que les indicateurs dont les paramètres sont divisés entre les deux niveaux, c'est à dire les indicateurs qui sont calculés sur ces deux niveaux, ainsi que les indicateurs IRTE et IRSA. Le calcul à l'échelle économique ne concerne que les huit indicateurs économiques.

8.1.1. Résultats au niveau "Exploitation"

En fonction des modes et systèmes de production, et des productions agricoles, les équations des différents indicateurs au niveau "Exploitation" ont été identifiées pour chaque exploitation agricole enquêtée. Après avoir calculé ces indicateurs en utilisant les données collectées auprès de onze exploitants et en attribuant des notes à leurs différents paramètres, des indices de performance ont été obtenus. Ces indices sont exprimés, par la suite, en pourcentage des performances maximales afin de faciliter la comparaison entre les onze exploitations agricoles. Les pourcentages des performances agro-environnementales et sociales obtenus au niveau *Exploitation* sont présentés dans le tableau 14.

Mis à part quelques exceptions, les indices de performance calculés pour l'ensemble des exploitations sont la plupart du temps faibles, voire très faibles, ou nuls par rapport aux seuils de performance des indicateurs. Par conséquent, les pourcentages des performances agro-environnementales et sociales obtenus par rapport aux différents indicateurs sont généralement inférieurs à 50% des seuils prédéfinis ou nuls (Tableau 14). Les exploitations étudiées sont donc loin d'être performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale au niveau *Exploitation*.

Tableau 14. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" (Résultats de calcul 2015-2016)

	Cultures annuelles sans cultures légumières				Cultures annuelles avec cultures légumières	Cultures annuelles sans cultures légumières & Prairies & Elevage		Cultures annuelles avec cultures légumières & Elevage	Cultures annuelles sans cultures légumières & Elevage	Cultures annuelles avec cultures légumières & Prairies	
	Exp 1	**Exp 3**	**Exp 6**	**Exp 7**	**Exp 2**	**Exp 4**	**Exp 9**	**Exp 5**	**Exp 8**	**Exp 10 (Bio)**	**Exp 11 (Bio)**
Pollution des eaux et des sols	11	5	13	14	9	21	16	9	12	41	36
Pollution de l'air	11	16	11	11	5	11	32	26	26	32	32
Erosion-Ruissellement	24	17	19	26	20	30	33	28	22	48	31
Fertilité du sol	25	15	20	25	18	32	34	26	20	**50**	32
Efficience de la fertilisation azotée	26	20	20	22	24	30	30	20	20	**54**	48
Préservation de la ressource eau	36	**54**	18	7	21	26	11	29	11	16	13
Préservation de l'énergie	48	**52**	39	39	32	35	48	**52**	45	45	42
Biodiversité et ressources locales	22	15	17	21	19	23	24	22	16	42	25
Contrôle des ravageurs	20	12	14	22	16	23	25	20	16	45	26
Contrôle des adventices	22	12	15	22	15	26	27	19	14	49	30
Bien-être animal	-	-	-	-	-	37	33	29	17	-	-
Implication sociale	17	9	35	26	17	39	39	17	39	30	15
Sécurité nutritionnelle des produits	0	0	0	25	0	28	25	0	5	8	8
Intensité et pénibilité du travail	46	**50**	46	42	46	46	**65**	**58**	**58**	**50**	46

La majorité du temps, une différence au niveau des performances agro-environnementales et sociales obtenues pour l'ensemble des indicateurs a été constatée entre les différentes exploitations de la même catégorie (mêmes mode et système de production, et productions agricoles). Cette différence peut être faible ou importante. Par rapport à chaque indicateur, nous observons donc l'écart entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible.

En ce qui concerne la catégorie *cultures annuelles sans cultures légumières* (exploitations 1, 3, 6 et 7), les écarts enregistrés au niveau de la préservation de la ressource en eau, l'implication sociale et la sécurité nutritionnelle des produits sont importants, ils sont respectivement de 47%, 26% et 25%. Or, pour les autres indicateurs, les écarts ne dépassent pas 13% (Figure 46).

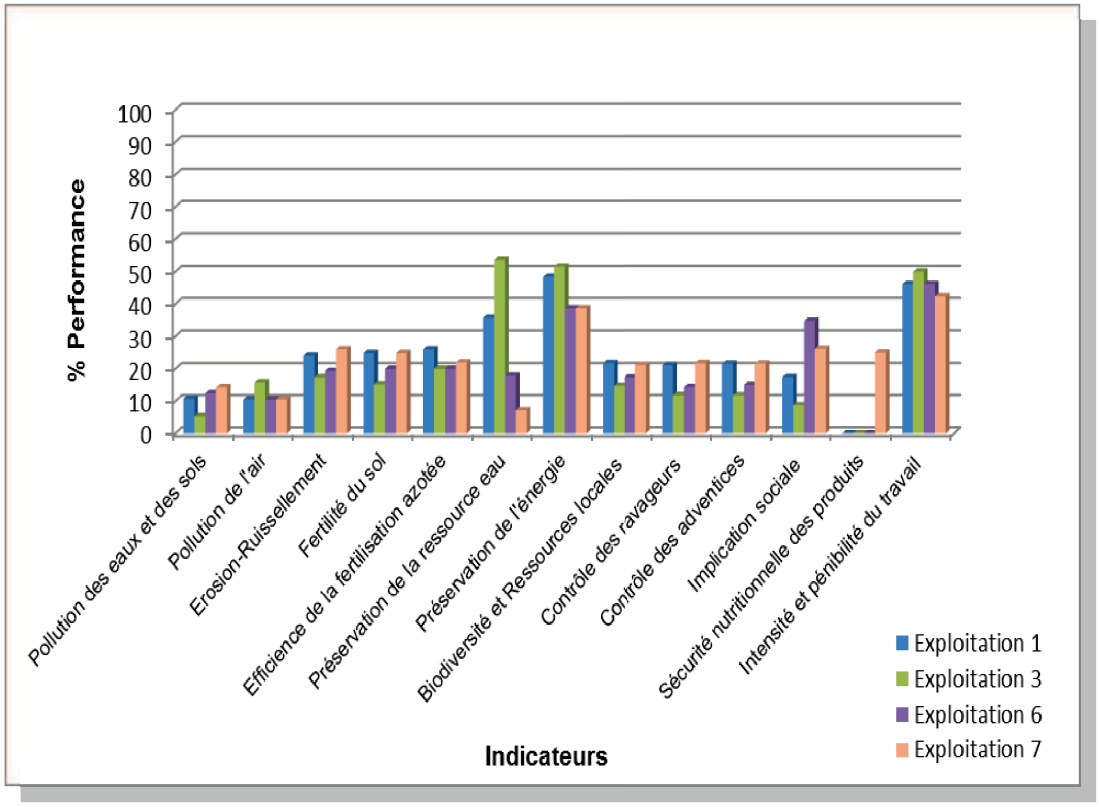


Figure 46. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles sans cultures légumières (Résultats de calcul 2015)

A propos de la catégorie *cultures annuelles avec cultures légumières & prairies* (exploitations 10 et 11), les écarts observés au niveau de l'érosion-ruissellement, la fertilité du sol, la biodiversité et ressources locales du territoire, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et l'implication sociale sont compris entre 15% et 19% alors que pour le reste des indicateurs, les écarts ne dépassent pas 6% (Figure 47).

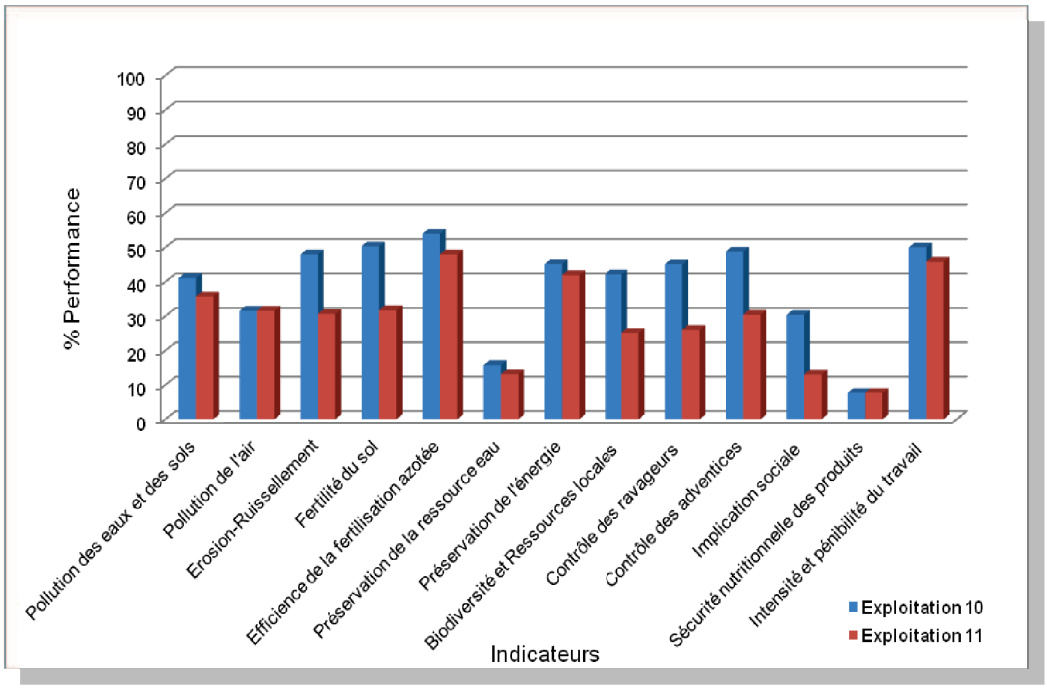


Figure 47. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles avec cultures légumières & prairies (Résultats de calcul 2016)

Pour ce qui est de la catégorie des *cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage*, il n'existe généralement pas de grande différence entre les deux exploitations 4 et 9. Ce n'est qu'au niveau des indicateurs pollution de l'air, préservation de la ressource en eau, préservation de l'énergie et intensité et pénibilité du travail que les écarts sont non négligeables avec 21%, 15%, 13% et 19% respectivement (Figure 48).

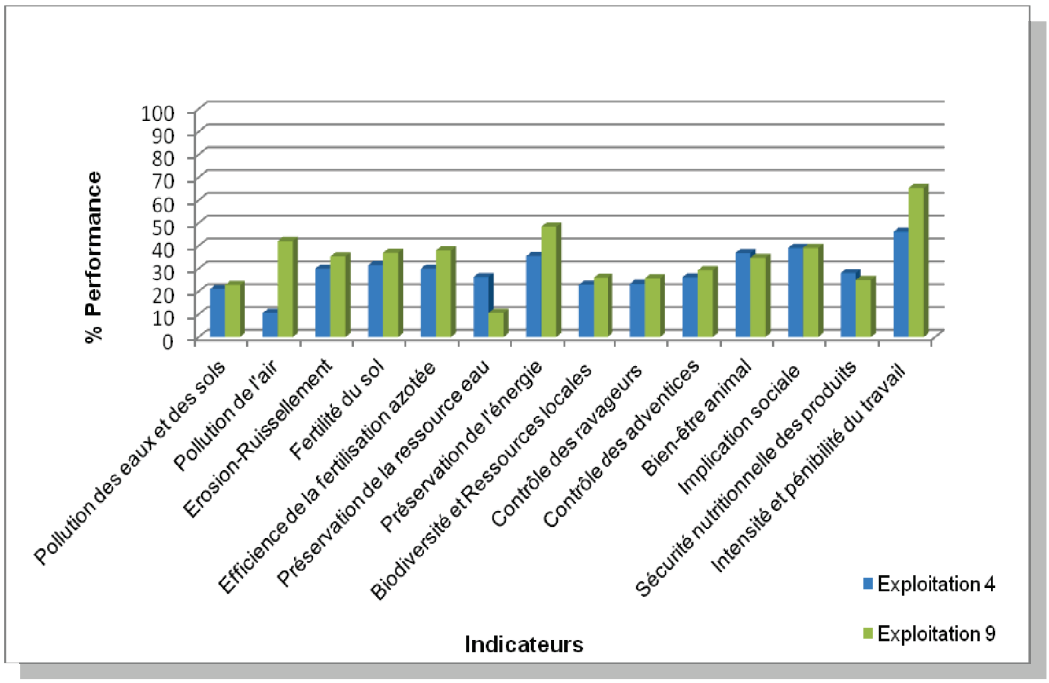


Figure 48. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Exploitation" des exploitations en polyculture & élevage: cas des cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage (Résultats de calcul 2015)

8.1.2. Résultats au niveau "Parcelle"

Après avoir calculé les différents indicateurs au niveau *Parcelle* (IRTE, IRSA et les indicateurs de l'annexe 9) pour chaque culture en utilisant les données collectées auprès des onze exploitants et les notes attribuées aux différents paramètres et aux valeurs IRTE et IRSA pondérés/ha, des indices de performances agro-environnementales et sociales ont été obtenus. Ces indices sont exprimés en pourcentage des performances maximales pour faciliter la comparaison entre les cultures de la même exploitation agricole ou entre les exploitations pour la même culture.

8.1.2.1. Résultats en fonction des exploitations agricoles

Les performances agro-environnementales et sociales calculées pour toutes les cultures de l'ensemble des exploitations peuvent être inférieures, égales ou supérieures à 50% des seuils, atteignant même 100% dans certains cas (Annexe 21). Ci-dessous, la comparaison d'une exploitation conventionnelle (n°1) avec une exploitation biologique (n°11) (Tableau 15). Les performances de toutes les cultures de l'exploitation 1 sont supérieures à 50% du seuil pour la pollution des eaux et des sols et inférieures à 50% du seuil pour la biodiversité et ressources locales du territoire. En ce qui concerne les autres indicateurs, les performances varient d'une culture à l'autre, elles peuvent être inférieures, égales ou supérieures à 50% des seuils. Au niveau de l'exploitation 11, les performances de toutes les cultures par rapport à la biodiversité et ressources locales du territoire, l'IRSA et l'IRTE sont maximales. Pour d'autres indicateurs, certaines cultures possèdent la performance maximale (le soja et le lin par rapport à la pollution des eaux et des sols, et le soja par rapport à l'efficience de la fertilisation azotée) alors que les performances des autres cultures sont inférieures ou supérieures à 50% des seuils.

Tableau 15. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Parcelle" des exploitations 1 et 11 (Résultats de calcul 2015-2016)

	Exploitation 1 (conventionnelle)					Exploitation 11 (biologique)			
	Colza semences	Tournesol oléique	Blé dur d'hiver	Blé tendre d'hiver	Orge d'hiver	Blé tendre qualité	Petit-Épeautre	Soja	Lin
Pollution des eaux et des sols	74	81	63	70	78	96	79	100	100
Fertilité du sol	32	20	48	56	36	65	46	69	42
Efficience de la fertilisation azotée	13	13	75	75	13	88	25	100	13
IRTE	3	87	90	87	80	100	100	100	100
Biodiversité et ressources locales	29	29	43	43	43	100	100	100	100
Contrôle des ravageurs	47	37	37	43	50	73	58	76	76
Contrôle des adventices	58	46	46	54	63	64	44	68	68
IRSA	3	90	87	70	77	100	100	100	100
Sécurité nutritionnelle des produits	32	20	48	56	36	65	46	69	42

La performance par rapport à un indicateur donné peut être la même pour différentes cultures d'une même exploitation. En revanche, dans d'autres cas, une différence au niveau des performances obtenues a été constatée entre les différentes cultures. Cette différence peut être faible ou importante quelque soit la catégorie (mode et système de production, et productions agricoles) de l'exploitation. En effet, les écarts obtenus entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible des différentes cultures au niveau des indicateurs varient entre 10% et 87%. Ci-dessous, nous prenons un exemple d'exploitations de chaque catégorie afin de montrer cette variation. Le choix de ces exemples n'est basé sur aucun critère de sélection. Il faut souligner que pour une même culture, le pourcentage de performance par rapport à la fertilité du sol et la sécurité nutritionnelle des produits est toujours le même car ces deux indicateurs possèdent les mêmes paramètres au niveau *Parcelle*.

- ***Exploitation 1 de la catégorie "cultures annuelles sans cultures légumières"***

Les écarts entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible des différentes cultures au niveau de la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE, l'IRSA et la sécurité nutritionnelle des produits sont importants, ils sont respectivement de 36%, 62%, 87%, 87% et 36%. Toutefois, pour les autres indicateurs, les écarts ne dépassent pas 18% (Figure 49).

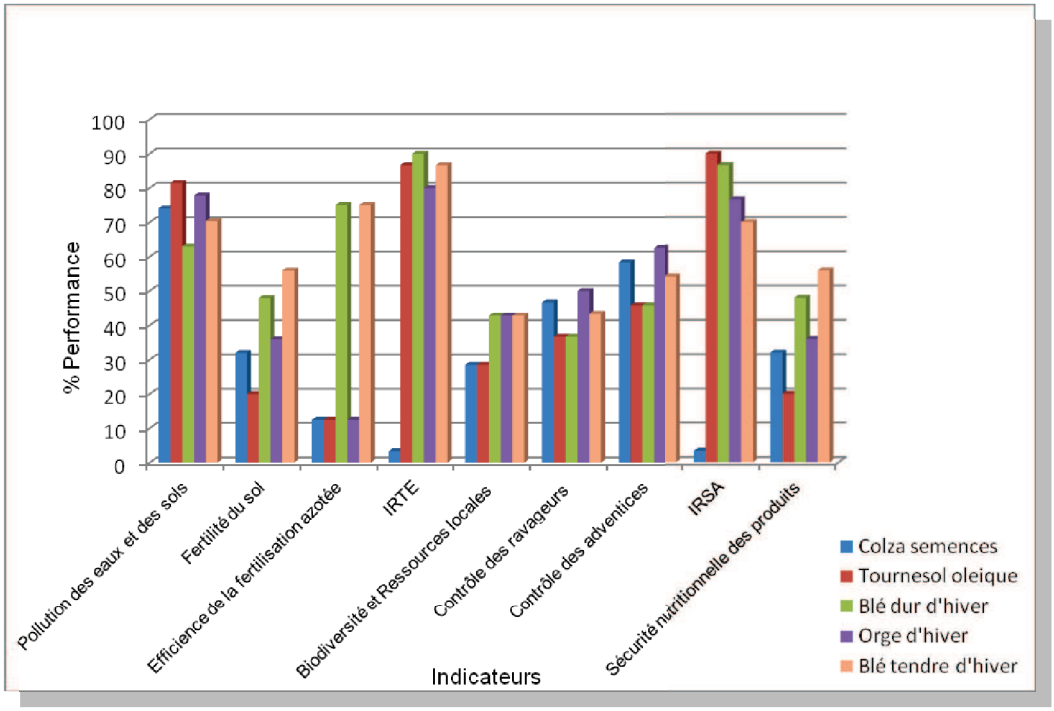


Figure 49. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 1 (Résultats de calcul 2015)

- ***Exploitation 2 de la catégorie "cultures annuelles avec cultures légumières"***

Au niveau de cette exploitation, ce sont quatre indicateurs qui marquent des écarts assez élevés entre le pourcentage de performance le plus important et le pourcentage de performance le plus faible de l'ensemble des cultures, à savoir la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRSA et la sécurité nutritionnelle des produits avec 28%, 75%, 33% et 28% respectivement (Figure 50).

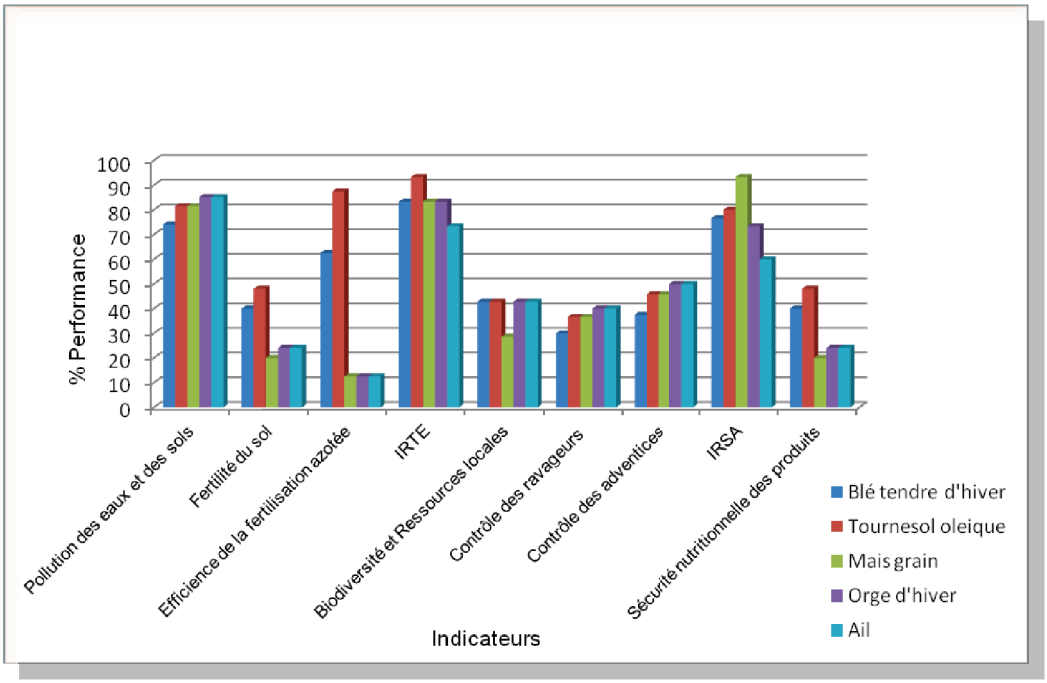


Figure 50. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 2
(Résultats de calcul 2015)

- ***Exploitation 4 de la catégorie "cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage"***

Par rapport à la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE, le bien-être animal et la sécurité nutritionnelle des produits, la différence entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des cultures est importante puisque les écarts enregistrés au niveau de ces indicateurs sont respectivement de 32%, 62%, 23%, 33% et 32%. Or, les écarts sont inférieurs à 17% au niveau des autres indicateurs (Figure 51).

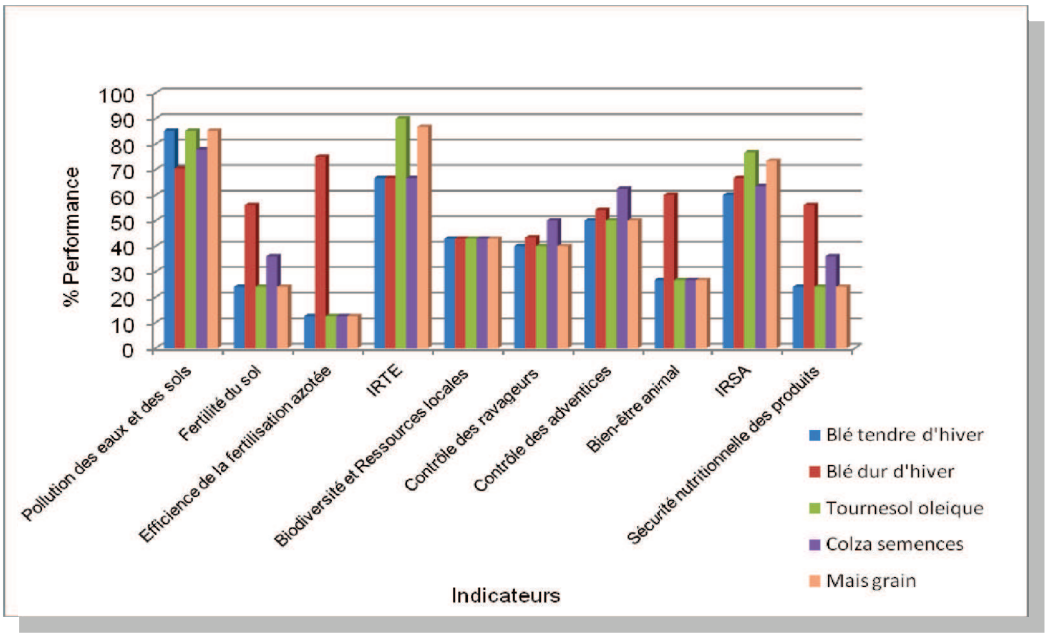


Figure 51. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 4
(Résultats de calcul 2015)

➢ ***Exploitation 5 de la catégorie "cultures annuelles avec cultures légumières & élevage"***

A l'exception de la pollution des eaux et des sols et la biodiversité des ressources locales du territoire, les écarts observés entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des différentes cultures au niveau des autres indicateurs sont importants, atteignant même 75%: la fertilité du sol ou la sécurité nutritionnelle des produits (22%), l'efficience de la fertilisation azotée (75%), l'IRTE (46%), le contrôle des ravageurs (24%), le contrôle des adventices (29%), le bien-être animal (40%) et l'IRSA (70%) (Figure 52).

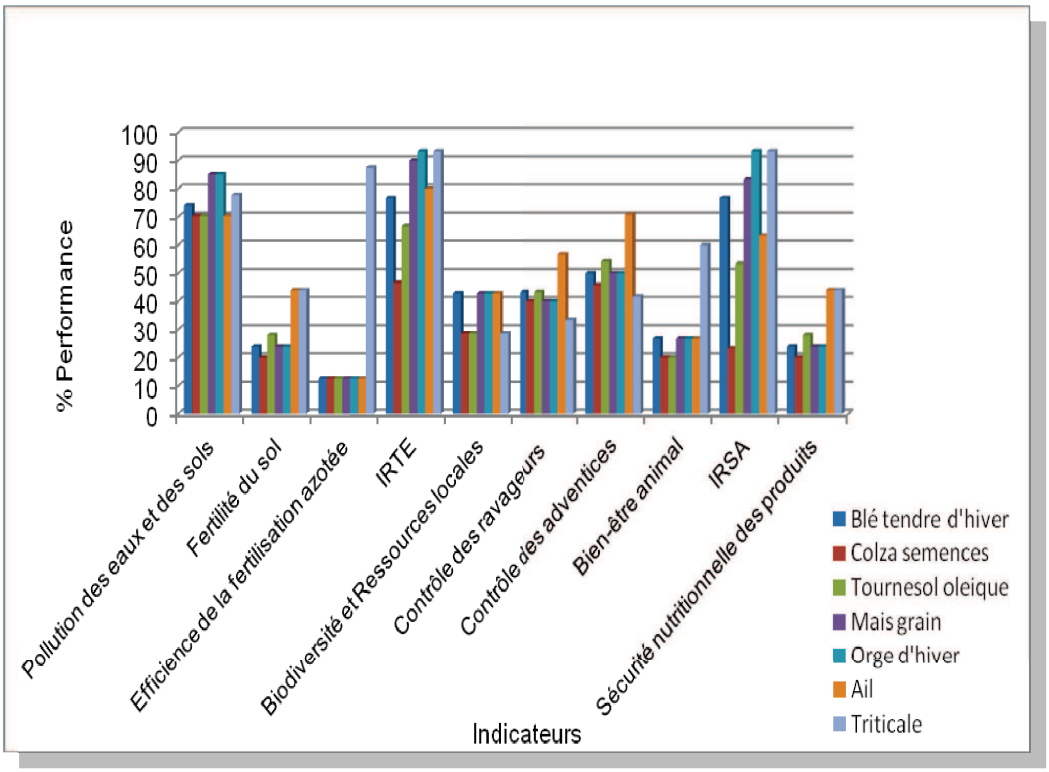


Figure 52. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 5 (Résultats de calcul 2015)

➢ ***Exploitation 8 de la catégorie "cultures annuelles sans cultures légumières & élevage"***

Par rapport à la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE, la biodiversité et ressources locales du territoire, le bien-être animal, l'IRSA et la sécurité nutritionnelle des produits, la différence entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des cultures est importante puisque les écarts constatés au niveau de ces indicateurs sont respectivement de 28%, 62%, 57%, 29%, 47%, 74% et 28%. Or, les écarts sont inférieurs à 16% au niveau des autres indicateurs (Figure 53).

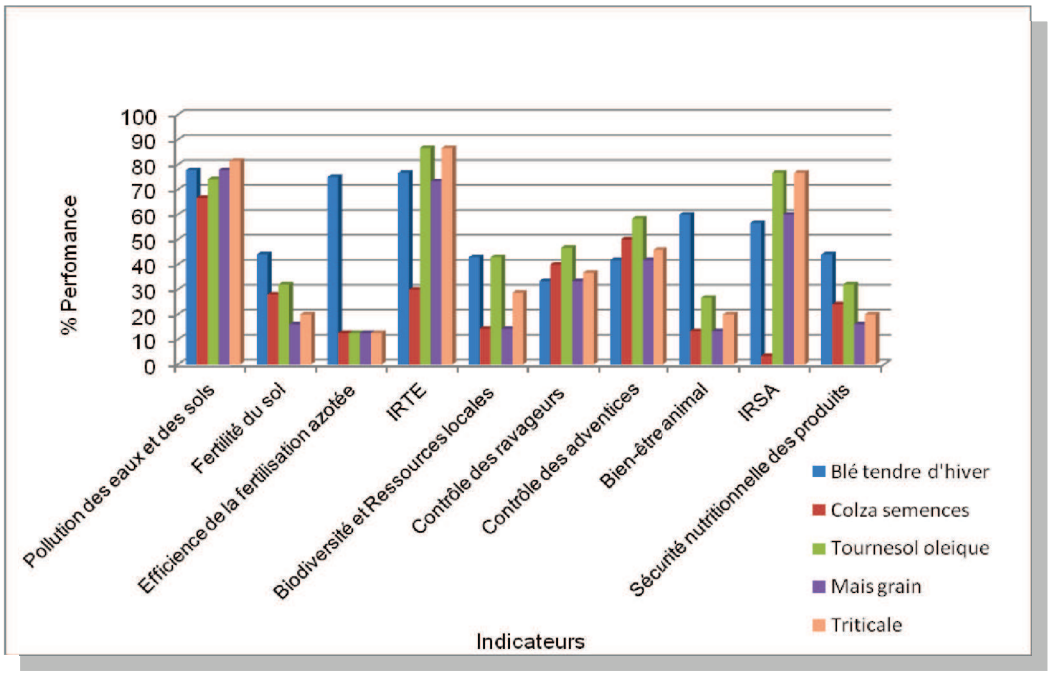


Figure 53. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 8 (Résultats de calcul 2015)

- ***Exploitation 11 de la catégorie "cultures annuelles avec cultures légumières & prairies"***

Contrairement aux autres indicateurs, les écarts observés entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible des différentes cultures par rapport à la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits peuvent aller de 18% à 87% (Figure 54).

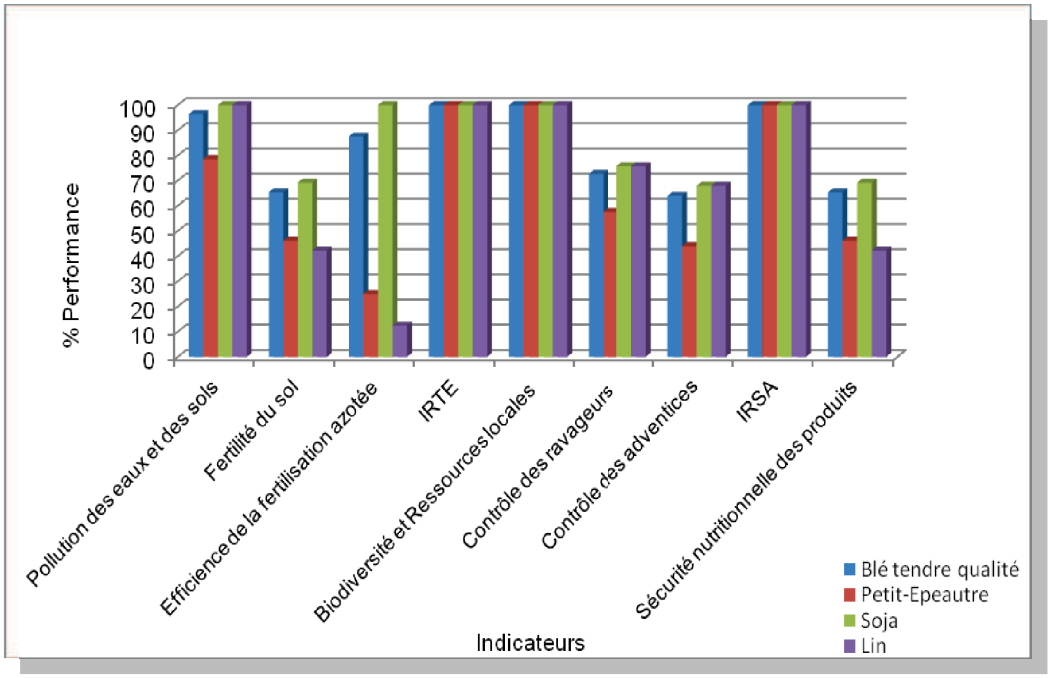


Figure 54. Performances agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" de l'exploitation 11 (Résultats de calcul 2016)

Les résultats obtenus au niveau "Parcelle" permettent non seulement de comparer les performances des différentes cultures de la même exploitation agricole, mais aussi de savoir la performance globale de toutes les cultures (une seule performance pour l'ensemble des cultures de la même exploitation) par rapport à chaque indicateur. Cette performance permet de montrer l'indicateur ou les indicateurs par rapport auxquels l'exploitation agricole est considérée comme performante au niveau "Parcelle". La performance globale de toutes les cultures par rapport à un indicateur donné est égale à la somme des multiplications de l'indice de performance de chaque culture par le pourcentage de sa superficie par rapport à la SAU de l'exploitation divisée par le seuil de l'indicateur au niveau "Parcelle". Afin de faciliter la comparaison entre les indicateurs, la performance globale est exprimée en pourcentage.

$$\textit{Performance globale des cultures} = \frac{\sum(\textit{Indice de performance culture x Pourcentage SAU culture})}{\textit{Seuil de l'indicateur au niveau Parcelle}}$$

L'exploitation 1, par exemple, est plus performante par rapport à la pollution des eaux et des sols, l'IRTE et l'IRSA où les pourcentages de performance globale de l'ensemble des cultures (blé dur d'hiver, blé tendre d'hiver, orge d'hiver, colza semences et tournesol oléique) sont respectivement de 69%, 71% et 67%. Par rapport aux autres indicateurs, les performances globales sont inférieures à 50% (Figure 55). L'exploitant 1 peut donc revoir la performance de chacune de ses cultures par rapport aux trois premiers indicateurs afin d'atteindre une performance globale de 100%. Il peut aussi revenir sur la performance de chaque culture par rapport aux autres indicateurs afin d'améliorer la performance globale.

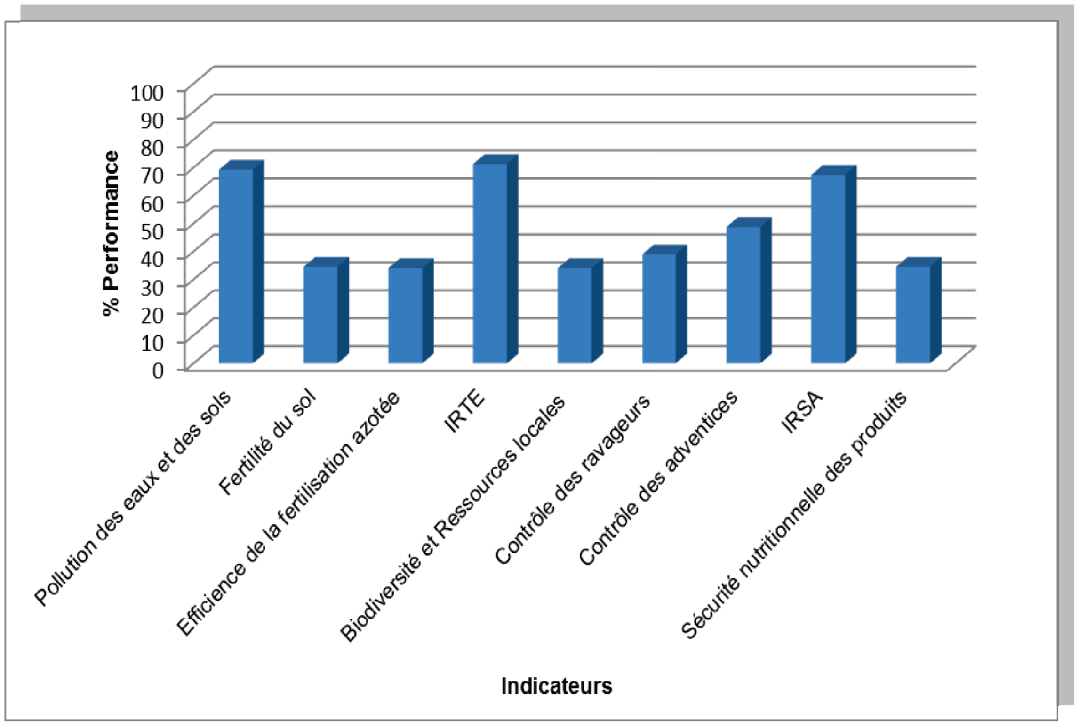


Figure 55. Performances globales de toutes les cultures de l'exploitation 1 (Résultats de calcul 2015)

Les performances globales de l'ensemble des cultures de chaque exploitation agricole obtenues par rapport aux différents indicateurs sont présentées dans le tableau 16 et la figure 56.

Tableau 16. Performances globales (en %) au niveau "Parcelle" de toutes les exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016)

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp 10 (Bio)	Exp 11 (Bio)
Pollution des eaux et des sols	69	78	79	68	72	62	74	72	67	80	71
Fertilité du sol	34	31	36	24	24	30	34	29	38	54	43
Efficience de la fertilisation azotée	34	39	46	15	13	35	48	37	52	51	46
IRTE	71	85	80	75	78	64	82	72	82	100	100
Biodiversité et ressources locales	34	39	42	35	37	22	40	28	35	85	76
Contrôle des ravageurs	39	35	38	34	40	33	39	33	34	68	54
Contrôle des adventices	49	44	48	43	48	41	46	41	43	63	47
Bien-être animal	-	-	-	25	24	-	-	33	44	-	-
IRSA	67	78	73	67	70	42	75	55	77	100	100
Sécurité nutritionnelle des produits	34	31	36	24	24	30	34	28	38	54	43

D'après les résultats (Tableau 16 et figure 56), nous constatons que par rapport à la pollution des eaux et des sols, l'IRTE et l'IRSA (sauf l'exploitation 6), les performances globales des cultures au niveau de toutes les exploitations sont supérieures à 50%, atteignant même 100% (le cas des exploitations biologiques par rapport à l'IRTE et l'IRSA). En ce qui concerne les autres indicateurs, toutes les performances globales obtenues sont faibles (inférieures à 50%) au niveau des exploitations 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 et 8 alors qu'il existe des exceptions pour les exploitations 9, 10 et 11. L'exploitation 10 est la seule à avoir une performance globale des cultures supérieure à 50% à l'égard de la fertilité du sol, du contrôle des adventices et de la sécurité nutritionnelle des produits, soient 54%, 63% et 54% respectivement. La performance globale des cultures par rapport à l'efficience de la fertilisation azotée dépasse légèrement 50% pour les deux exploitations 9 et 10, elle est respectivement de 52% et 51%. Par rapport à la biodiversité et le contrôle des ravageurs, ce sont les deux exploitations biologiques 10 et 11 qui ont obtenu les meilleures performances globales des cultures.

Nous constatons également d'après ces résultats que, même si les performances globales de leurs cultures ne sont pas toujours très importantes, les deux exploitations biologiques 10 et 11 sont les meilleures (les deux à la fois) par rapport à la plupart des indicateurs: la fertilité du sol, l'IRTE, la biodiversité, le contrôle des ravageurs, l'IRSA et la sécurité nutritionnelle des produits.

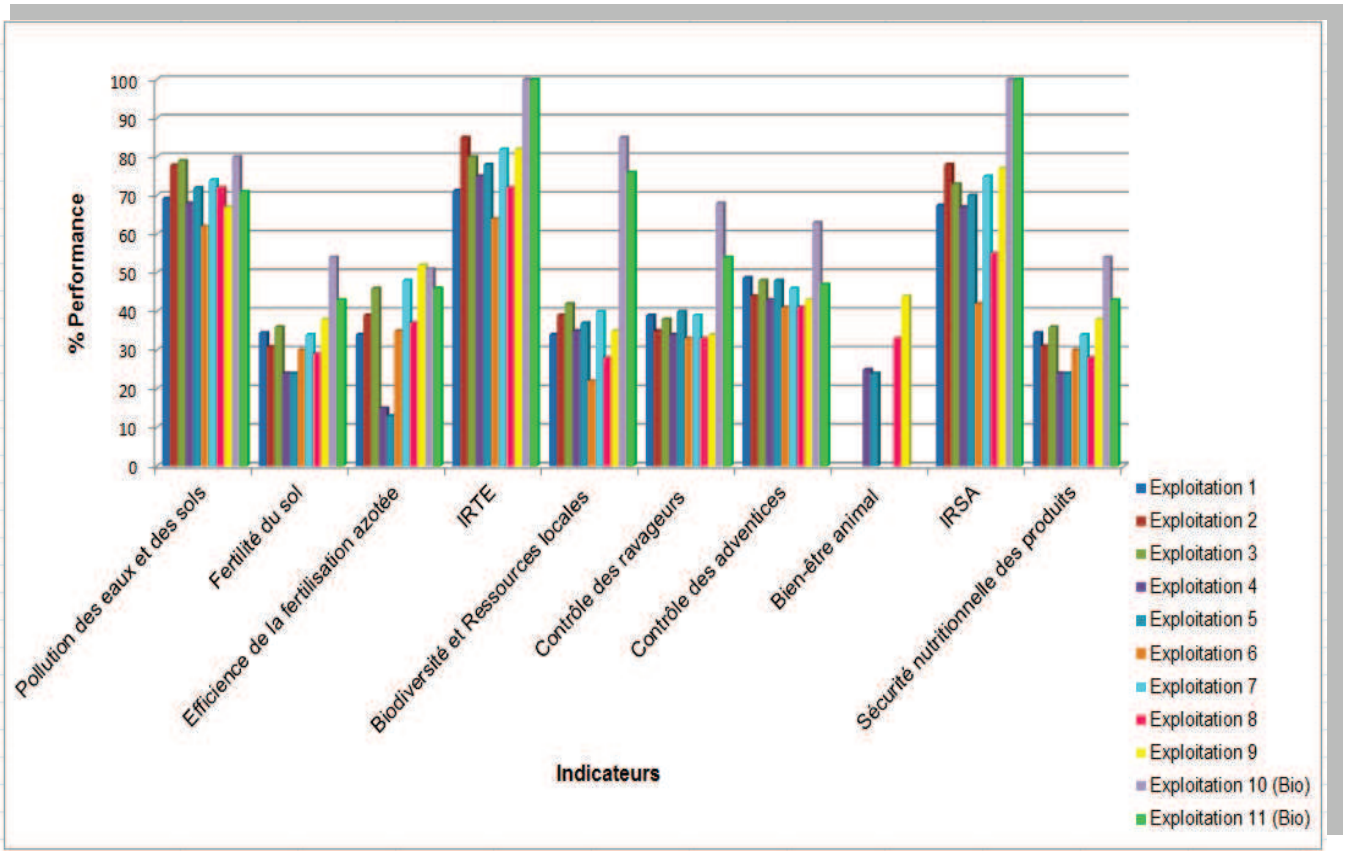


Figure 56. Performances globales au niveau "Parcelle" de toutes les exploitations agricoles (Résultats de calcul 2015-2016)

8.1.2.2. Résultats en fonction des cultures

Les pourcentages des performances agro-environnementales et sociales calculés pour les différentes exploitations en fonction des cultures peuvent être inférieurs, égaux ou supérieurs à 50% des seuils, atteignant même 100% dans certains cas (Annexe 21). Ci-dessous, l'exemple de deux cultures: blé dur d'hiver et colza semences (Tableau 17):

La culture du blé dur d'hiver est présente dans quatre exploitations agricoles (1, 3, 4 et 9). Par rapport à la pollution des eaux et des sols, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE, le bien-être animal et l'IRSA, toutes les exploitations agricoles possèdent des performances égales ou supérieures à 50% de la performance maximale. Cependant, mis à part quelques exceptions (la fertilité du sol, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits pour l'exploitation 4), les performances des quatre exploitations sont inférieures à 50% des seuils à l'égard des autres indicateurs. Dans la plupart des cas, c'est l'exploitation 4 qui possède les meilleures performances: la pollution des eaux et des sols (70%), la fertilité du sol et la sécurité nutritionnelle des produits (56%), le contrôle des ravageurs (43%), le contrôle des adventices (54%) et le bien-être animal (60%).

Le colza semences est cultivé dans sept exploitations agricoles (1, 4, 5, 6, 7,8 et 9). Pour cette culture, les performances de toutes les exploitations sont supérieures à 50% du seuil par rapport à la pollution des eaux et des sols et inférieures à 50% des seuils par rapport à la fertilité du sol, la biodiversité et ressources locales du territoire, le contrôle des ravageurs et la sécurité nutritionnelle des produits. Pour

la plupart des indicateurs, la performance la plus élevée est enregistrée au niveau de l'exploitation 4: la pollution des eaux et des sols (78%), l'IRTE (67%), la biodiversité et ressources locales du territoire (43%), le contrôle des ravageurs (50%), le contrôle des adventices (63%) et l'IRSA (63%).

Tableau 17. Pourcentages des performances agro-environnementales et sociales au niveau "Parcelle" des deux cultures blé dur d'hiver et colza semences (Résultats de calcul 2015)

	Blé dur d'hiver				Colza semences						
	Exp 1	**Exp 3**	**Exp 4**	**Exp 9**	**Exp 1**	**Exp 4**	**Exp 5**	**Exp 6**	**Exp 7**	**Exp 8**	**Exp 9**
Pollution des eaux et des sols	63	63	70	63	74	78	70	70	70	67	70
Fertilité du sol	48	48	56	48	32	36	20	28	20	28	36
Efficience de la fertilisation azotée	75	63	75	63	13	13	13	13	13	13	75
IRTE	90	87	67	83	3	67	47	33	53	30	37
Biodiversité et ressources locales du territoire	43	43	43	43	29	43	29	14	29	14	14
Contrôle des ravageurs	37	37	43	37	47	50	40	43	40	40	27
Contrôle des adventices	46	46	54	46	58	63	46	54	46	50	33
Bien-être animal	-	-	60	53	-	27	20	-	-	13	47
IRSA	87	87	67	80	3	63	23	17	53	3	20
Sécurité nutritionnelle des produits	48	48	56	48	32	36	20	28	20	24	36

Pour une même culture, la performance par rapport à un indicateur donné peut être la même pour toutes les exploitations. En revanche, dans d'autres cas, une différence au niveau des performances obtenues a été constatée entre les exploitations. Cette différence peut être faible ou importante. En effet, les écarts entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des différentes exploitations par rapport à l'ensemble des indicateurs pour la même culture, varient entre 6% et 87%. Ci-dessous, nous prenons trois exemples de cultures (blé dur d'hiver, colza semences et soja) afin de montrer cette variation. Le choix de ces exemples n'est basé sur aucun critère de sélection.

- ***Le blé dur d'hiver***

Contrairement aux autres indicateurs, les écarts entre la meilleure performance et la performance la plus faible des différentes exploitations sont assez élevés au niveau de l'IRTE et l'IRSA: 23% et 20% respectivement (Tableau 17).

- ***Le colza semences***

Pour la plupart des indicateurs, les écarts entre la meilleure performance et la performance la plus faible sont importants, atteignant même 64%: le contrôle des ravageurs (23%), la biodiversité et

ressources locales du territoire (29%), le contrôle des adventices (30%), le bien-être animal (34%), l'IRSA (60%), l'efficience de la fertilisation azotée (62%) et l'IRTE (64%) (Tableau 17).

- ***Le soja***

Ce n'est qu'au niveau de la biodiversité et ressources locales du territoire et le contrôle des ravageurs que les écarts entre le meilleur pourcentage de performance et le pourcentage de performance le moins élevé sont importants avec 57% et 36% respectivement. Pour le reste des indicateurs, les écarts ne dépassent pas 18% (Figure 57).

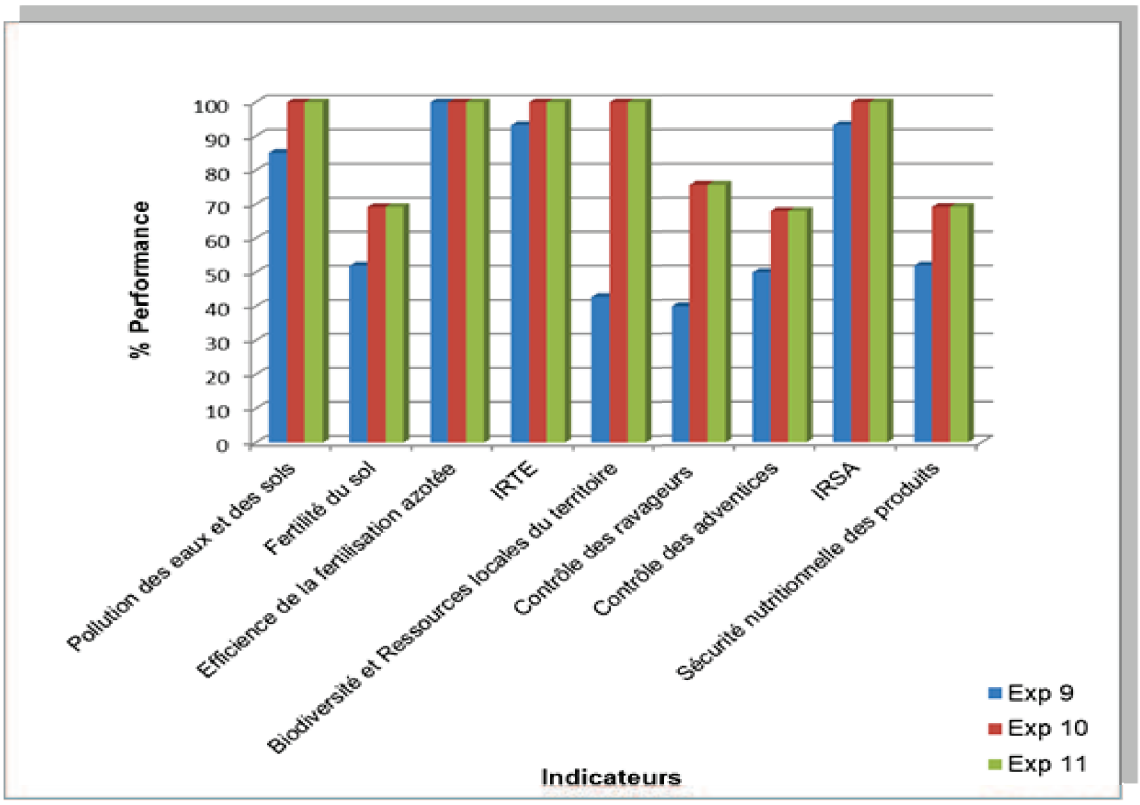


Figure 57. Performances agro-environnementale et sociale de la culture du soja (Résultats de calcul 2015-2016)

Les performances agro-environnementales et sociales obtenues au niveau "Parcelle" et l'étude de leurs différentes variations permettent de comparer entre les cultures d'une même exploitation agricole et entre les différentes exploitations pour une même culture. Cela permet donc de distinguer par rapport à chaque indicateur: ***i)*** la culture (ou les cultures) la plus ou la moins performante au niveau de chaque exploitation (Tableau 18) et ***ii)*** l'exploitation (ou les exploitations) la plus ou la moins performante pour une culture donnée (Annexe 22).

Tableau 18. Les cultures les plus performantes par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015-2016)

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp 10 (Bio)	Exp 11 (Bio)
Pollution des eaux et des sols	Tournesol oléique	Orge & Ail	Tournesol oléique	Blé tendre & Maïs & Tournesol oléique	Orge & Maïs	Maïs	Maïs &Tournesol oléique & Sorgho grain	Triticale	Tournesol oléique & Soja	Soja & Pois chiche & Avoine & Haricot, Lentille & Maïs & Blé tendre qualité	Soja & Lin
Fertilité du sol	Blé tendre	Tournesol oléique	Blé tendre & Blé dur	Blé dur	Ail & Triticale	Blé tendre	Blé tendre & Orge	Blé tendre	Blé tendre	Blé tendre	Soja
Efficience de la fertilisation azotée	Blé tendre & Blé dur	Tournesol oléique	Blé tendre	Blé dur	Triticale	Blé tendre	Blé tendre & Orge	Blé tendre	Soja	Soja & Pois chiche & Haricot & Lentille	Soja
IRTE	Blé dur	Tournesol oléique	Triticale	Tournesol oléique	Orge & Triticale	Maïs	Tournesol oléique & Sorgho grain	Tournesol oléique & Triticale	Tournesol oléique & Triticale & Soja	Même performance pour toutes les cultures	Même performance pour toutes les cultures
Biodiversité et ressources locales du territoire	Blé tendre & Blé dur & Orge	Blé tendre & Tournesol oléique & Orge & Ail	Blé tendre & Blé dur & Tournesol oléique	Même performance pour toutes les cultures	Blé tendre & Maïs & Orge & Ail	Maïs	Blé tendre & Maïs & Tournesol & Orge & Sorgho	Blé tendre & Tournesol oléique	Blé tendre & Blé dur & Tournesol oléique & Soja	Même performance pour toutes les cultures	Même performance pour toutes les cultures
Contrôle des ravageurs	Orge	Orge & Ail	Triticale	Colza semences	Ail	Colza semences	Sorgho grain	Tournesol oléique	Blé tendre	Lin	Soja & Lin
Contrôle des adventices	Orge	Orge & Ail	Triticale	Colza semences	Ail	Colza semences	Sorgho grain	Tournesol oléique	Blé tendre	Lin	Soja & Lin
Bien-être animal	-	-	-	Blé dur	Triticale	-	-	Blé tendre	Soja	-	-
IRSA	Tournesol oléique	Maïs	Triticale	Tournesol oléique	Orge & Triticale	Maïs	Sorgho grain	Tournesol oléique & Triticale	Triticale & Soja	Même performance pour toutes les cultures	Même performance pour toutes les cultures
Sécurité nutritionnelle des produits	Blé tendre	Tournesol oléique	Blé tendre & Blé dur	Blé dur	Ail & Triticale	Blé tendre	Blé tendre & Orge	Blé tendre	Blé tendre	Blé tendre standard	Soja

8.1.3. Résultats au niveau "Global"

En ce qui concerne les échelles agro-environnementale et sociale, la performance globale par rapport à un indicateur donné correspond à la performance calculée au niveau *Exploitation* ou à celle calculée suite à la conjonction des deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle* (Tableau 19). La conjonction est basée sur l'utilisation de l'indice de performance calculé par rapport à un indicateur donnée au niveau *Exploitation* et de ceux obtenus au niveau *Parcelle* (pour chaque culture).

Tableau 19. Origine de la performance globale des indicateurs (Trabelsi, 2016)

Indicateurs	Performance globale
Pollution des eaux et des sols **Fertilité du sol** **Efficience de la fertilisation azotée** **Biodiversité et ressources locales du territoire** **Contrôle des ravageurs** **Contrôle des adventices** **Bien-être animal** **Sécurité nutritionnelle des produits** **IRTE** **IRSA**	Résultat de la conjonction entre les deux niveaux exploitation et parcelle
Pollution de l'air **Erosion-Ruissellement** **Préservation de la ressource eau** **Préservation de l'énergie** **Implication sociale** **Intensité et pénibilité du travail**	Performance calculée au niveau de l'exploitation

La plupart du temps, les pourcentages de performance globale obtenus par rapport aux différents indicateurs sont inférieurs à 50% des seuils prédéfinis (Tableau 20 et figure 58). A l'exception de l'exploitation 6 qui n'enregistre que 42% de la performance maximale par rapport à l'IRSA, toutes les autres exploitations dépassent 50% de la performance maximale par rapport aux indicateurs IRSA et IRTE. Les deux exploitations biologiques 10 et 11 atteignent même la performance maximale avec 100%. L'exploitation 10 est la seule à dépasser légèrement 50% de la performance maximale par rapport à la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée et le contrôle des adventices avec respectivement 54%, 51%, 54% et 51%. Par rapport à la préservation de la ressource en eau, c'est uniquement l'exploitation 3 qui a obtenu une performance globale supérieure à 50% du seuil, soit 54%. Cette exploitation partage le même pourcentage de performance globale par rapport à la préservation de l'énergie avec l'exploitation 5, soit 52%. Ce sont donc les deux seules exploitations à dépasser la moitié du seuil par rapport à cet indicateur. A l'égard de l'intensité et la pénibilité du travail, seules les performances globales obtenues au niveau des exploitations 5, 8 et 9 sont supérieures à 50% du seuil.

Si nous comparons les résultats obtenus (Tableau 20 et figure 58) en fonction du type d'exploitations, c'est-à-dire conventionnelle ou biologique, nous constatons que les exploitations biologiques (10 et 11) ne sont pas toujours les plus performantes par rapport à tous les indicateurs. Elles peuvent même avoir des performances globales très faibles par rapport à celles des exploitations conventionnelles dans certains cas. Les deux exploitations 10 et 11 sont les meilleures (les deux à la fois) par rapport à des indicateurs appartenant aux trois enjeux *environnement* (quatre indicateurs), *protection de la culture*

(deux indicateurs) et *santé* (un seul indicateur). En effet, elles n'ont obtenu les performances globales les plus élevées qu'à l'égard de la pollution des eaux et des sols, l'efficience de la fertilisation azotée, la biodiversité, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices, et bien sûr l'IRTE et l'IRSA. Par rapport à d'autres indicateurs comme la préservation de la ressource en eau ou l'implication sociale par exemple, des exploitations conventionnelles ont enregistré des performances plus importantes que les deux exploitations biologiques 10 et 11: les performances globales par rapport à la préservation de la ressource en eau au niveau des exploitations 1 et 3 sont respectivement de 36% et 54% alors que les exploitations 10 et 11 n'en enregistrent que 16% et 13% de la performance maximale respectivement.

Si nous comparons maintenant les résultats obtenus (Tableau 20 et figure 58) en fonction du système de production agricole, c'est-à-dire polyculture ou polyculture et élevage, nous constatons que les exploitations en polyculture-élevage (4, 5, 8 et 9) ne sont pas toujours les meilleures par rapport à l'ensemble des indicateurs. En effet, elles peuvent avoir les mêmes performances globales ou des performances globales moins importantes que celles des exploitations biologiques ou conventionnelles en polyculture seulement. Nous prenons les exemples de trois indicateurs. Les performances globales par rapport à la pollution des eaux et des sols des exploitations 4, 5, 8 et 9 sont inférieures à celles des exploitations 10 et 11. Par rapport au même indicateur, les pourcentages de performance globale des exploitations 3,5 et 6 sont identiques. Par rapport à l'efficience de la fertilisation azotée, l'exploitation 5 n'obtient que 19% de la performance globale maximale alors que les pourcentages de performance globale des exploitations 1,2, 10 et 11, qui sont en polyculture, sont respectivement de 27%, 26%, 54% et 48%. La performance globale de l'exploitation 4 par rapport à l'intensité et pénibilité du travail est la même que celles des exploitations 1, 2, 6 et 11, soit 46% de la performance maximale.

Tableau 20. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Global"
(Résultats de calcul 2015-2016)

	Cultures annuelles sans cultures légumières				Cultures annuelles avec cultures légumières	Cultures annuelles sans cultures légumières & Prairies & Elevage		Cultures annuelles avec cultures légumières & Elevage	Cultures annuelles sans cultures légumières & Elevage	Cultures annuelles avec cultures légumières & Prairies	
	Exp 1	**Exp 3**	**Exp 6**	**Exp 7**	**Exp 2**	**Exp 4**	**Exp 9**	**Exp 5**	**Exp 8**	**Exp 10 (Bio)**	**Exp 11 (Bio)**
Pollution des eaux et des sols	30	29	29	34	31	36	32	29	32	**54**	48
Pollution de l'air	11	16	11	11	5	11	32	26	26	32	32
Erosion-Ruissellement	24	17	19	26	20	30	33	28	22	48	31
Fertilité du sol	26	18	21	26	20	30	35	26	21	**51**	33
Efficience de la fertilisation azotée	27	24	22	26	26	28	33	19	22	**54**	48
Préservation de la ressource eau	36	**54**	18	7	21	26	11	29	11	16	13
Préservation de l'énergie	48	**52**	39	39	32	35	48	**52**	45	45	42
Biodiversité et ressources locales du territoire	22	16	17	22	19	23	24	22	17	44	27
Contrôle des ravageurs	23	16	17	24	19	25	26	23	18	49	30
Contrôle des adventices	25	17	19	25	19	28	29	23	17	**51**	33
Bien-être animal	-	-	-	-	-	35	34	29	19	-	-
Implication sociale	17	9	35	26	17	39	39	17	39	30	13
Sécurité nutritionnelle des produits	21	22	18	31	19	26	31	13	17	35	25
Intensité et pénibilité du travail	46	50	46	42	46	46	**65**	**58**	**58**	50	46
IRSA	**67**	**73**	42	**75**	**78**	**67**	**77**	**70**	**55**	**100**	**100**
IRTE	**71**	**80**	**64**	**82**	**85**	**75**	**82**	**78**	**72**	**100**	**100**

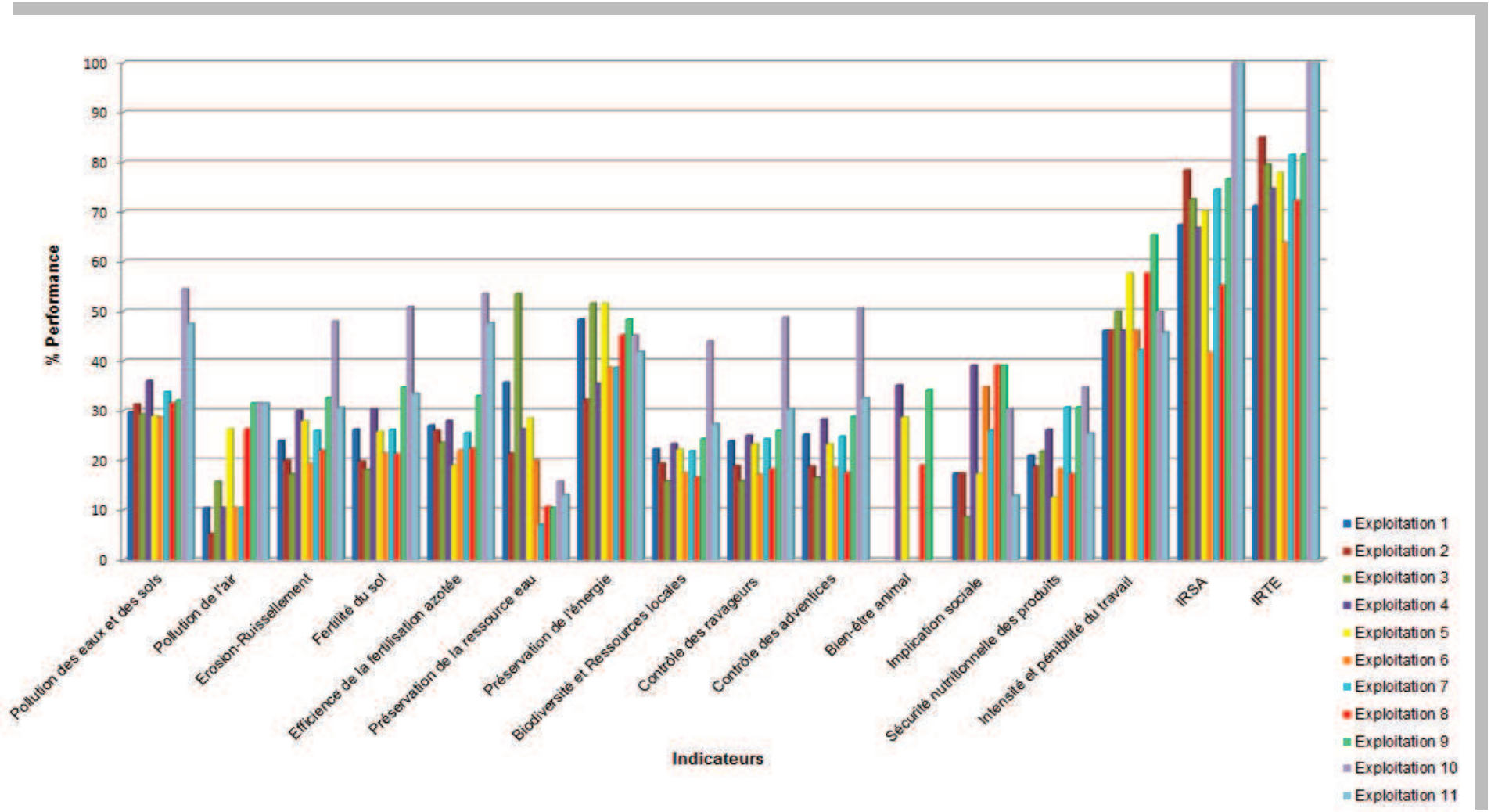


Figure 58. Performances agro-environnementales et sociales au niveau "Global" (Résultats de calcul 2015-2016)

Par rapport au classement de la performance agroécologique globale prédéfini (Tableau 11, page120), nous constatons que les exploitations agricoles étudiées ne sont pas très performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale. En effet, par rapport à l'ensemble des indicateurs à l'exception de l'IRSA et l'IRTE, les performances globales des différentes exploitations agricoles sont très faibles, faibles ou moyennes (Annexe 23). Ci-dessous, trois exemples d'indicateurs illustrant ce résultat. Au niveau des exploitations conventionnelles, la performance globale par rapport à la pollution des eaux et des sols est faible alors qu'elle est moyenne au niveau de celles biologiques (Figure 59).

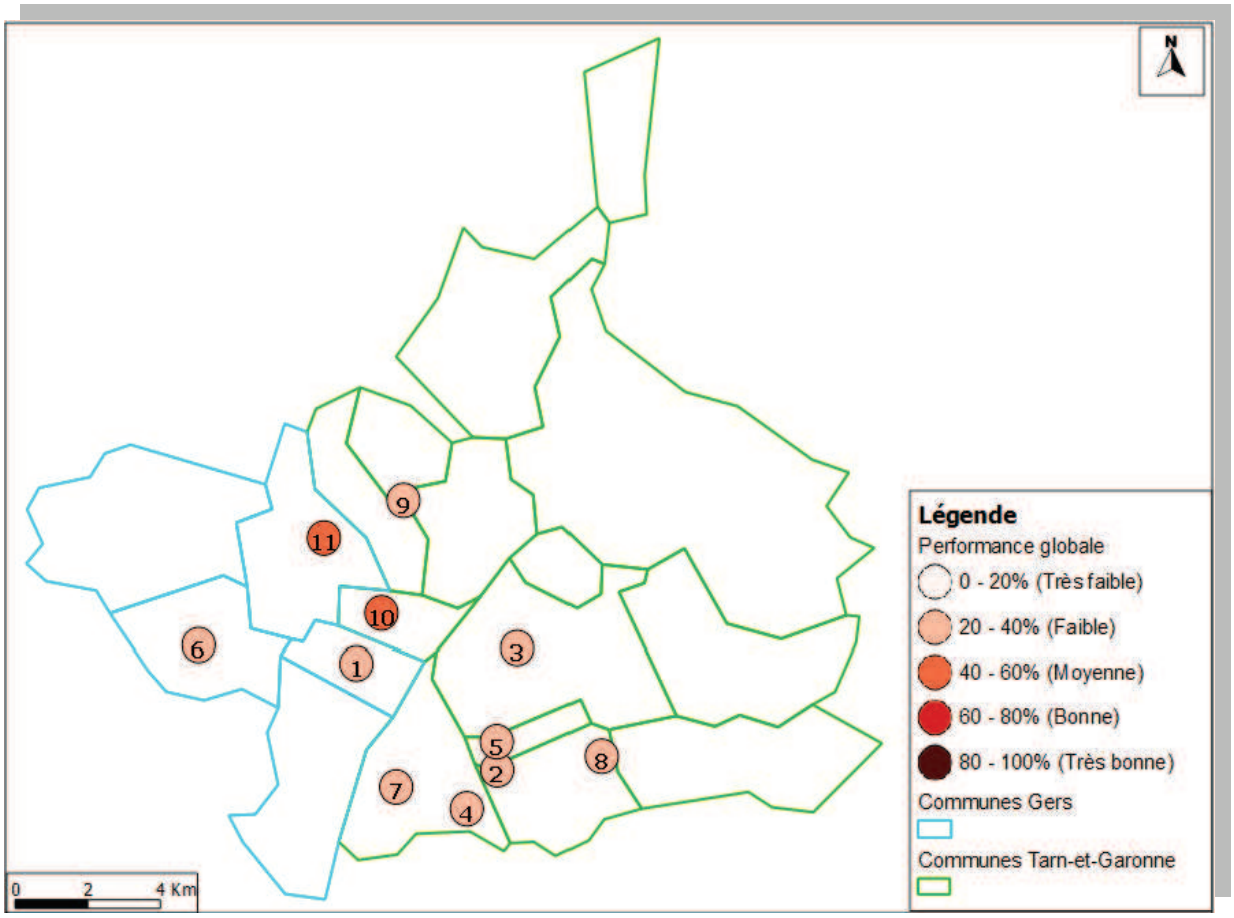


Figure 59. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la pollution des eaux et des sols (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

L'exemple de la préservation de la ressource en eau montre que la performance globale par rapport à cet indicateur est très faible au niveau des exploitations 6, 7, 8, 9, 10 et 11, faible au niveau des exploitations 1, 2, 4 et 5, et moyenne au niveau de l'exploitation 3 (Figure 60). Par rapport à l'IRTE, les performances globales des différentes exploitations sont bonnes (exploitations 1, 3, 4, 5, 6 et 8) ou très bonnes (exploitations 2, 7, 9, 10 et 11) (Figure 61).

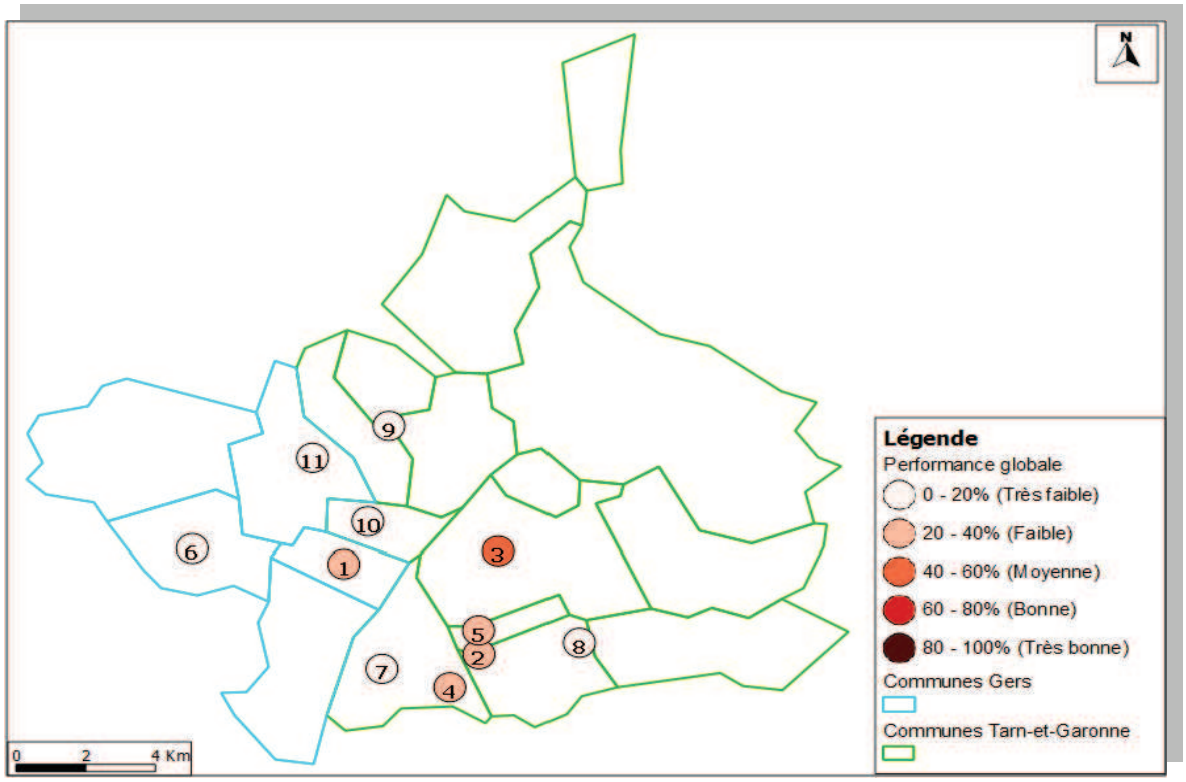


Figure 60. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la préservation de la ressource en eau (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

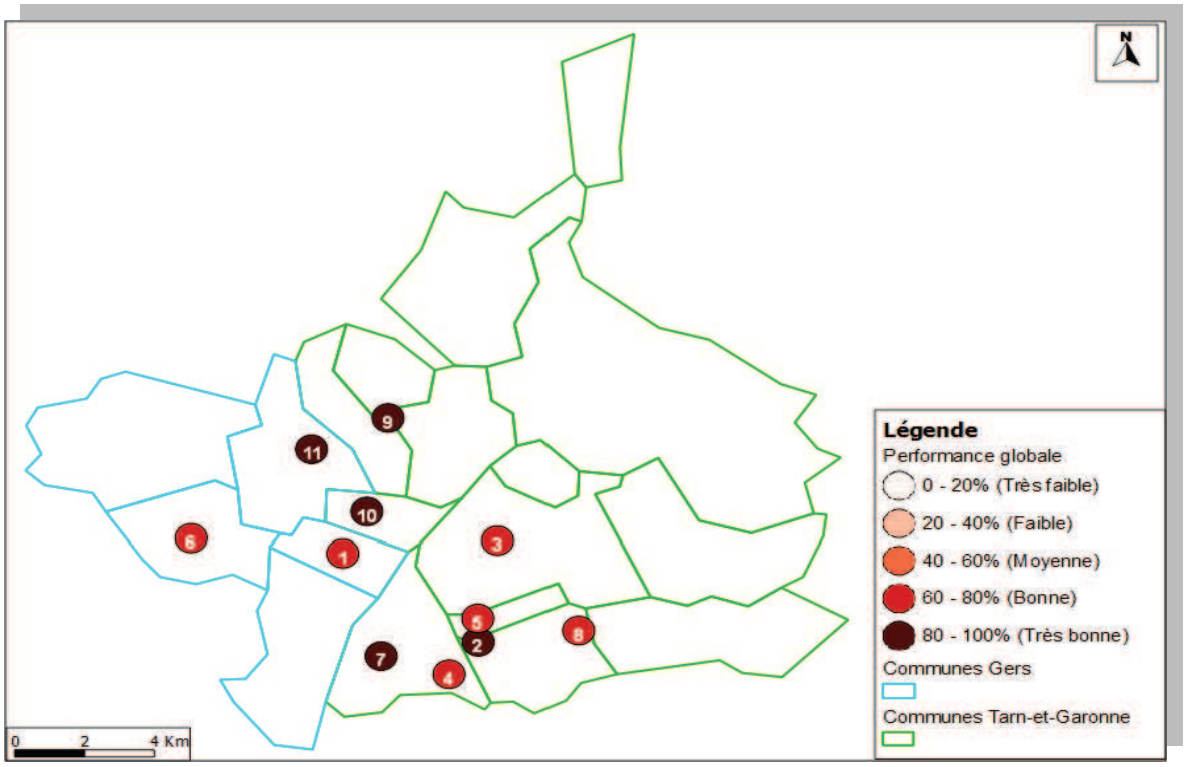


Figure 61. Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'IRTE (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Bien que les pourcentages de performance globale obtenus par rapport aux différents indicateurs soient dans la plupart des cas faibles par rapport aux performances maximales, une différence au niveau de ces pourcentages a été constatée entre les différentes exploitations de la même catégorie (mêmes mode et système de production, et productions agricoles). Cette différence peut être faible ou importante. Par rapport à chaque indicateur, nous observons donc l'écart entre le pourcentage de performance globale le plus élevé et le pourcentage de performance globale le plus faible.

En ce qui concerne la catégorie des *cultures annuelles sans cultures légumières* (exploitations 1, 3, 6 et 7), la différence entre la performance globale la plus élevée et la performance globale la plus faible est importante au niveau de la préservation de la ressource en eau, l'implication sociale et l'IRSA avec 47%, 26% et 33% respectivement. Par contre, elle ne dépasse pas 18% au niveau des autres indicateurs (Figure 62).

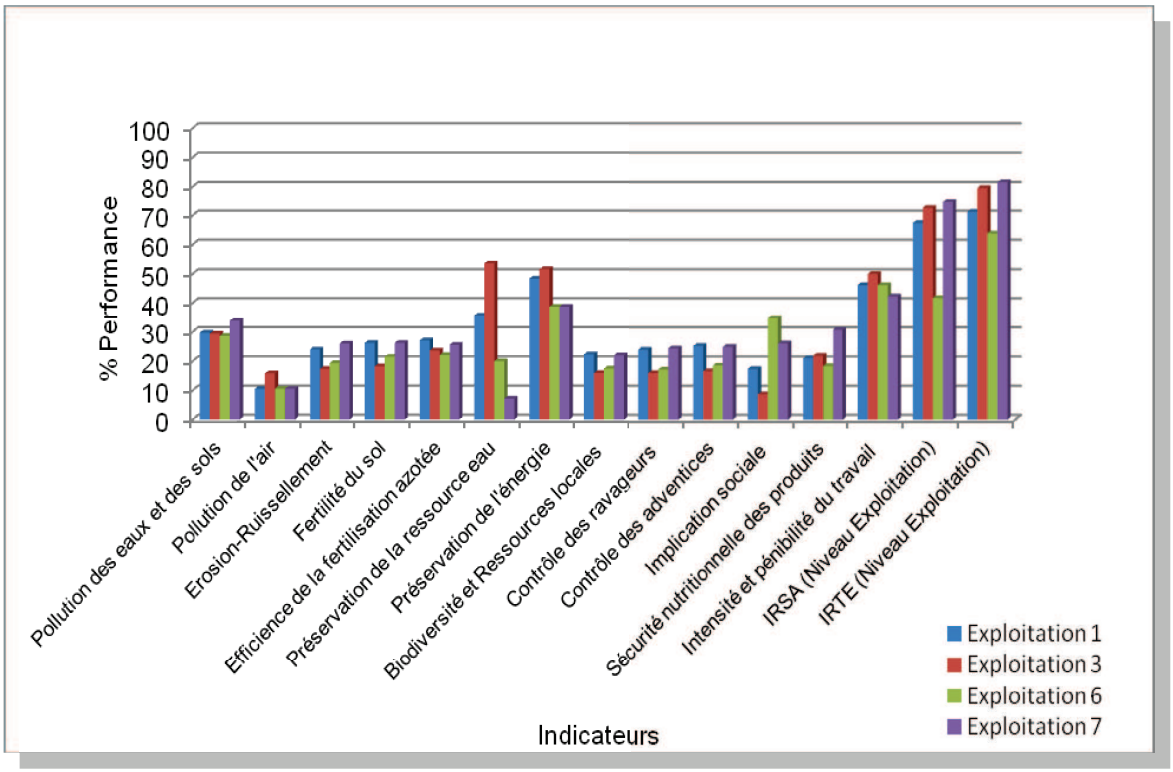


Figure 62. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles sans cultures légumières (Résultats de calcul 2015-2016)

La différence entre les différentes performances agro-environnementales et sociales globales des deux exploitations biologiques 10 et 11 (catégorie des *cultures annuelles avec cultures légumières & prairies*) n'est pas très élevée. En effet, elle ne dépasse pas 19% pour l'ensemble des indicateurs (Figure 63).

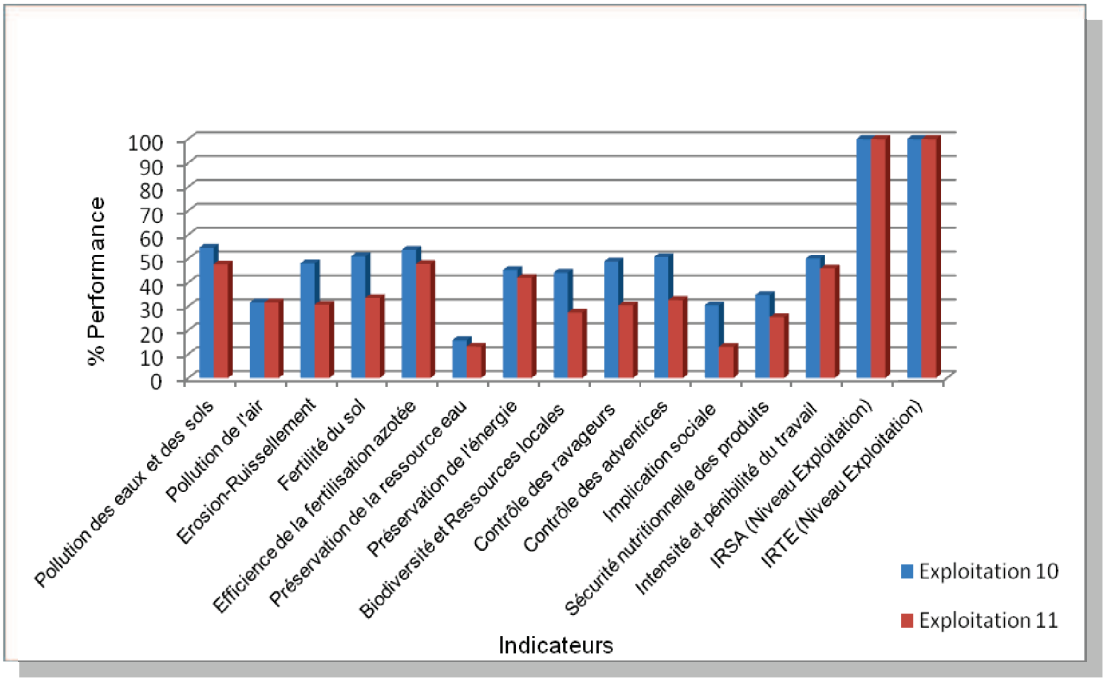


Figure 63. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture: cas des cultures annuelles avec cultures légumières & prairies (Résultats de calcul 2015-2016)

A l'exception des indicateurs pollution de l'air et intensité et pénibilité du travail qui présentent un écart de performance globale de 21% et 19% respectivement, tous les autres indicateurs présentent une différence inférieure à 15% au niveau de la catégorie des *cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage* (exploitations 4 et 9) (Figure 64).

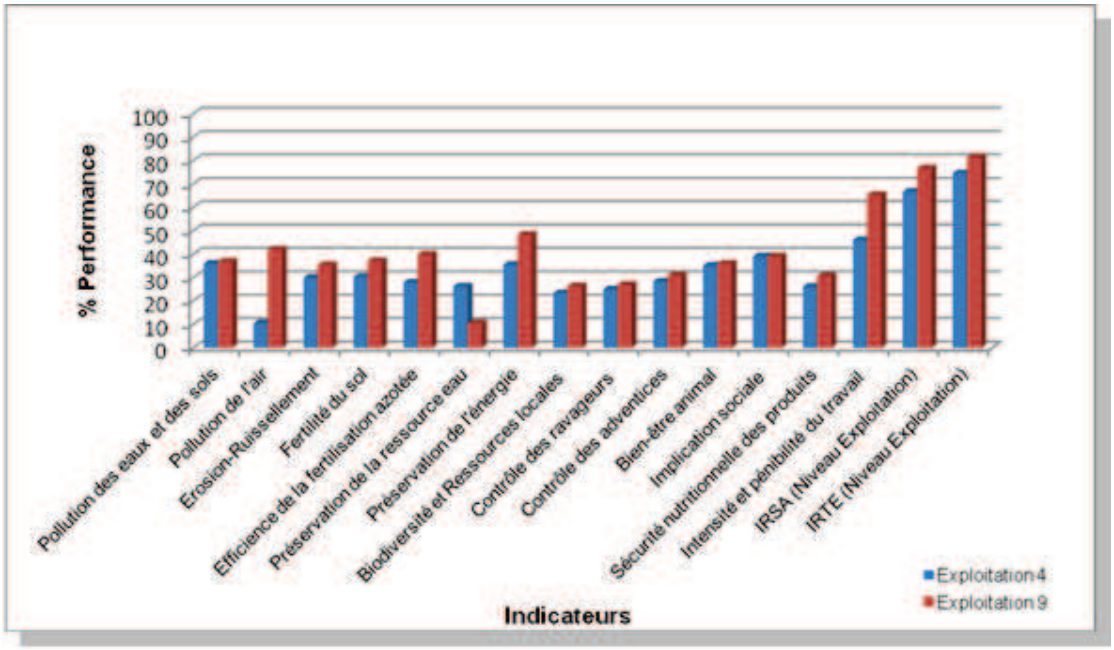


Figure 64. Performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations en polyculture & élevage: cas des cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage (Résultats de calcul 2015-2016)

8.2. Résultats à l'échelle économique

Huit indicateurs économiques ont été identifiés dans cette étude pour mesurer la performance économique d'une exploitation agricole lors de son processus de transition agroécologique. Les données collectées auprès des exploitants sont utilisées pour calculer ces indicateurs et obtenir des indices de performance en fonction des notes attribuées. Ces indices sont exprimés, par la suite, en pourcentage des performances maximales afin de faciliter la comparaison entre les exploitations agricoles. Les pourcentages de performance économique des exploitations agricoles par rapport aux différents indicateurs sont présentés dans le tableau 21.

Ces pourcentages peuvent être inférieurs, égaux ou supérieurs à 50% des seuils de performance. Certaines exploitations ont même obtenu la performance maximale (100%) dans certains cas. Par rapport à l'efficacité économique, seules les exploitations 10 et 11 ont dépassé 50% du seuil avec respectivement 71% et 86% de la performance maximale. Les exploitations 7, 10 et 11 sont les seules à atteindre 50% de la performance maximale de la productivité du capital. Les exploitations 4, 6, 7, 8 et 10 sont les meilleures par rapport à la sensibilité aux aides. La plupart des performances sont égales ou supérieures à 50% du seuil de performance de l'autonomie financière mais les deux exploitations 1 et 2 sont les seules à atteindre la performance maximale. A l'exception des deux exploitations 2 et 9, les performances des autres exploitations par rapport à l'efficience du processus productif sont supérieures à 50% du seuil. L'indicateur "Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants" est le seul indicateur par rapport auquel toutes les performances obtenues sont égales ou supérieures à 50% de la performance maximale. Par rapport à cet indicateur, l'exploitation 11 est la seule à atteindre la performance maximale. La moitié du seuil de performance de l'efficience-santé applicateur est dépassée par quatre exploitations seulement, dont deux (10 et 11) ont une performance maximale de 100%. Par rapport à l'efficience-toxicité environnement, six exploitations agricoles ont enregistré des performances supérieures à 50% de la performance maximale et deux (10 et 11) ont atteint le seuil.

Tableau 21. Pourcentages de performance économique des différentes exploitations agricoles
(Résultats de calcul 2015-2016)

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp 10 (Bio)	Exp 11 (Bio)
Efficacité économique	29	14	29	43	29	43	43	43	14	**71**	**86**
Productivité du capital	17	17	33	33	17	33	**50**	33	17	**50**	**50**
Sensibilité aux aides	9	NR*	36	**64**	27	**55**	**64**	**73**	9	**73**	18
Autonomie financière	**100**	**100**	**83**	**67**	17	33	**50**	**67**	33	**50**	**67**
Efficience du processus productif	**70**	40	**80**	**70**	**60**	**80**	**70**	**60**	40	**80**	**80**
Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	**75**	**50**	**75**	**75**	**75**	**75**	**75**	**75**	**50**	**75**	**100**
Efficience-santé applicateur	27	45	36	**73**	45	27	45	46	**82**	**100**	**100**
Efficience-toxicité environnement	27	**64**	45	**82**	**55**	36	**55**	**64**	**91**	**100**	**100**

NR* : non renseigné (manque de données)

Par rapport au classement de la performance agroécologique globale prédéfini (Tableau 11, page 120), nous constatons que la majorité des performances des exploitations à l'échelle économique sont moyennes ou bonnes (Tableau 22). Une même exploitation peut avoir à la fois plusieurs performances (très faible et/ou faible et/ou moyenne et/ou bonne et/ou très bonne) par rapport aux différents indicateurs. En effet, une exploitation donnée peut être très performante à l'égard de l'autonomie financière par exemple et très peu performante par rapport à la productivité du capital et la sensibilité aux aides (cas de l'exploitation 1).

Au niveau de l'échelle économique, les écarts entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible des différentes exploitations par rapport aux indicateurs sont beaucoup plus importants que ceux observés aux échelles agro-environnementale et sociale. En effet, ces écarts sont compris entre 33% (productivité du capital) et 83% (autonomie financière).

Tableau 22. Classification de la performance économique des différentes exploitations agricoles
(Résultats de calcul 2015-2016)

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp 10	Exp 11
Efficacité économique	29	14	29	43	29	43	43	43	14	71	86
Productivité du capital	17	17	33	33	17	33	50	33	17	50	50
Sensibilité aux aides	9	NR	36	64	27	55	64	73	9	73	18
Autonomie financière	100	100	83	67	17	33	50	67	33	50	67
Efficience du processus productif	70	40	80	70	60	80	70	60	40	80	80
Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	75	50	75	75	75	75	75	75	50	75	100
Efficience-santé applicateur	27	45	36	73	45	27	45	46	82	100	100
Efficience-toxicité environnement	27	64	45	82	55	36	55	64	91	100	100

Très faible
Faible
Moyenne
Bonne
Très bonne

Conclusion du chapitre VIII

Pour les échelles agro-environnementale et sociale, les résultats de l'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique des exploitations agricoles étudiées par rapport aux différents indicateurs ont été présentés sur trois niveaux: niveau *Exploitation*, niveau *Parcelle* et niveau *Global* regroupant parcelle et exploitation. Pour l'échelle économique, les performances sont calculées directement au niveau global de l'exploitation. Les résultats de calcul se représentent sous forme de pourcentages de performance permettant de positionner les différentes exploitations agricoles ou les cultures par rapport à des seuils de performance et de les comparer les unes aux autres.

Sur les deux échelles agro-environnementale et sociale, les résultats obtenus ont montré que les performances à l'égard des différents indicateurs varient d'une exploitation ou d'une culture à l'autre. En effet, pour la même catégorie d'exploitations agricoles (mêmes mode et système de production, et productions agricoles), les pourcentages de performance calculés aux deux niveaux *Exploitation* et *Global* peuvent être inférieurs, égaux ou supérieurs à 50% des seuils prédéfinis. La même constatation a été déduite des résultats au niveau *Parcelle* au sein de la même exploitation ou d'une exploitation à l'autre. Sur ces deux échelles, les exploitations agricoles étudiées ne sont pas très performantes. Leurs performances agro-environnementales et sociales globales par rapport à la plupart des indicateurs sont très faibles, faibles ou moyennes. Les résultats ont également montré que les deux exploitations biologiques (10 et 11) ou celles en polyculture-élevage (4, 5,8 et 9) ne sont pas les meilleures par rapport à l'ensemble des indicateurs. Les exploitations biologiques peuvent avoir des performances globales faibles par rapport à celles des exploitations conventionnelles pour certains indicateurs. Les pourcentages de performance globale des exploitations possédant de l'élevage sont généralement identiques ou inférieurs à ceux des exploitations biologiques ou conventionnelles en polyculture seulement. A l'échelle économique, les résultats ont montré que les pourcentages de performance des différentes exploitations agricoles par rapport aux indicateurs économiques peuvent être également inférieurs, égaux ou même supérieurs à 50% des seuils prédéfinis, atteignant même les performances maximales dans certains cas. Les performances économiques obtenues sont en majorité moyennes ou bonnes.

Une variation entre les pourcentages de performance obtenus par rapport aux différents indicateurs a été constatée à tous les niveaux. Par rapport à un indicateur donnée, l'importance de cette variation est estimée par l'écart entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le moins important. Cet écart peut être faible ou important en fonction des exploitations agricoles et des cultures. Il peut atteindre 47% aux niveaux *Exploitation* et *Global,* 87% au niveau *Parcelle* (cas des indicateurs IRSA et IRTE) et 83% à l'échelle économique. Afin d'expliquer et de comprendre les différents résultats obtenus, il est nécessaire d'analyser les caractéristiques techniques (fertilisation, traitements phytosanitaires, utilisation des ressources, etc.), sociales (échange, entraide, travail, etc.) et économiques (coûts, marge brute, etc.) de chaque exploitation agricole. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE IX : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Ce chapitre a pour objectifs d'expliquer, d'analyser les résultats obtenus à tous les niveaux et de déduire les ressemblances et les différences entre les différentes exploitations agricoles. Ces explications et déductions permettent de tirer des conclusions et d'établir des bilans finaux. Ces bilans sont effectués pour aider à proposer des scénarios d'amélioration de la performance agroécologique en fonction des changements possibles. Pour cela, nous gardons la même logique utilisée lors de la présentation des résultats des calculs. Nous commençons d'abord par l'analyse des résultats sur les deux échelles agro-environnementale et sociale pour terminer avec l'échelle économique. Afin de confirmer le résultat déduit au début de ce présent travail selon lequel les méthodes classiques ne sont pas très adaptées pour évaluer la performance ou la durabilité agroécologique, et de vérifier la pertinence de l'outil développé, une comparaison entre des résultats issus de la méthode classique d'évaluation IDEA et ceux obtenus à partir de l'outil développé est présentée à la fin de ce chapitre.

9.1. Analyse des résultats aux échelles agro-environnementale et sociale

Pour ces deux échelles, les résultats sont présentés sur trois niveaux: exploitation, parcelle et global. En effet, toutes les performances globales dépendent des performances obtenues au niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle. Pour comprendre les performances globales, il est donc nécessaire d'analyser d'abord les résultats obtenus aux niveaux *Exploitation* et *Parcelle*. Pour l'analyse des résultats au niveau *Exploitation*, nous nous sommes basés sur l'exemple de la catégorie *des cultures annuelles sans cultures légumières*. L'exemple de l'exploitation 1 a été pris pour analyser les résultats au niveau *Parcelle*. Le principe de l'analyse est le même pour toutes les catégories et les exploitations, c'est pour cette raison qu'un seul exemple est présenté pour chaque niveau. Le choix de ces exemples n'est basé sur aucun critère de sélection. Des pistes possibles permettant d'améliorer les performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations agricoles appartenant à la catégorie choisie pour l'analyse sont proposées par la suite.

9.1.1. Analyse des résultats au niveau "Exploitation"

D'après les résultats au niveau des différentes catégories, nous avons constaté que dans la plupart des cas les performances obtenues à l'égard de l'ensemble des indicateurs sont faibles par rapport aux performances maximales (inférieures à 50% des seuils). Nous avons également remarqué que malgré la faiblesse des performances obtenues, l'écart observé entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible au niveau des exploitations appartenant à la même catégorie peut être important, négligeable ou nul. En effet, par rapport à un indicateur donné, il peut arriver que le même pourcentage de performance agro-environnementale et sociale soit attribué à plusieurs exploitations agricoles, et que l'écart entre les pourcentages de performance soit grand ou ne soit pas très important.

Par rapport à chaque indicateur, les performances des différentes exploitations et l'écart observé entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des exploitations appartenant à la même catégorie sont fonction des actions agricoles menées par chaque exploitant. En effet, le pourcentage de performance obtenu au niveau de chaque exploitation par rapport à un indicateur donné reflète les

différentes notes attribuées à ses paramètres. En outre, l'absence d'une différence significative entre les performances des exploitations est due généralement à l'absence d'un écart important au niveau des notes accordées aux paramètres des différents indicateurs. Afin de comprendre les résultats obtenus ainsi que les raisons d'une telle différence entre les performances, nous analysons donc les paramètres (techniques agricoles) des différents indicateurs de l'exemple de la catégorie "*cultures annuelles sans cultures légumières"*.

Toutefois, il faut d'abord préciser que certains indicateurs partagent les mêmes paramètres et qu'il existe également des paramètres spécifiques à chaque indicateur. En effet, nous avons précédemment déterminé les paramètres (techniques agricoles) de chaque indicateur (Annexe 5). Ces paramètres ont ensuite été classés selon les deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle* (Annexe 7). A partir de ces deux annexes, les paramètres spécifiques à chaque indicateur au niveau *Exploitation* sont regroupés dans le tableau 23. Les paramètres qui concernent le niveau *Exploitation* et qui interviennent au niveau de plusieurs indicateurs sont également identifiés et présentés dans le tableau 24. Ces deux tableaux ne contiennent que les paramètres spécifiques à la catégorie *"cultures annuelles sans cultures légumières"* choisie pour l'analyse.

Tableau 23. Paramètres "Exploitation" spécifiques à chaque indicateur (Trabelsi, 2015)

Paramètres	Indicateurs
Stockage et traitement des eaux usées Recyclage des déchets non organiques	Pollution des eaux et des sols
Mise en place des infrastructures antiérosives	Erosion-Ruissellement
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	Efficience de la fertilisation azotée
Diminution de la consommation d'eau Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation	Préservation de la ressource eau
Diminution de la consommation énergétique Production de l'énergie renouvelable Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation	Préservation de l'énergie
Présence des espèces végétales anciennes Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	Biodiversité et ressources locales du territoire
Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, etc.)	Contrôle des ravageurs
Renforcement de la communication entre les agriculteurs Intégration dans des structures associatives Embauche de la main d'œuvre Développement des circuits courts (la vente directe) Développement de l'agrotourisme Ouverture de l'exploitation à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation Intégration ou participation dans des organisations et/ou institutions de conseil Transformation des produits sur l'exploitation Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente Diversification clientèle	Implication sociale
Diminution du rythme de travail difficile Présence d'un bon environnement de travail	Intensité et pénibilité du travail

Tableau 24. Paramètres "Exploitation" intervenant au niveau de plusieurs indicateurs (Trabelsi, 2015)

Paramètres	Indicateurs
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	Pollution des eaux et des sols, pollution de l'air, érosion-ruissellement, fertilité du sol, efficience de la fertilisation azotée, biodiversité et ressources locales du territoire, bien-être animal et contrôle des adventices
Couverture du sol (interligne et/ou après récolte (interculture))	Pollution des eaux et des sols, érosion-ruissellement, fertilité du sol, préservation de la ressource eau, biodiversité et ressources locales du territoire, contrôle des ravageurs, contrôle des adventices et intensité et pénibilité du travail
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	Pollution des eaux et des sols, érosion-ruissellement, fertilité du sol, contrôle des ravageurs, contrôle des adventices, bien-être animal et sécurité nutritionnelle des produits
Mise en place des infrastructures agroécologiques	Pollution des eaux et des sols, érosion-ruissellement, fertilité du sol, biodiversité et ressources locales du territoire, bien-être animal et contrôle des ravageurs
Rotation des cultures	Pollution des eaux et des sols, érosion-ruissellement, fertilité du sol, efficience de la fertilisation azotée, biodiversité et ressources locales du territoire, contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Intégration des plantes de coupure dans la rotation	Pollution des eaux et des sols, érosion-ruissellement, fertilité du sol, biodiversité et ressources locales du territoire et contrôle des ravageurs
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	Pollution de l'air, érosion-ruissellement, fertilité du sol, préservation de l'énergie et intensité et pénibilité du travail
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	Pollution de l'air, érosion-ruissellement, fertilité du sol, préservation de l'énergie, contrôle des adventices et intensité et pénibilité du travail
Assolement des cultures	Erosion-ruissellement, fertilité du sol, efficience de la fertilisation azotée, biodiversité et ressources locales du territoire, contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Dimension moyenne des parcelles	Erosion-ruissellement, biodiversité et ressources locales du territoire et intensité et pénibilité du travail
Diversité végétale	Erosion-ruissellement, fertilité du sol, biodiversité et ressources locales du territoire, bien-être animal, contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Association des cultures dans la même parcelle	Fertilité du sol, biodiversité et ressources locales du territoire, contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	Préservation de la ressource eau et préservation de l'énergie
Utilisation de la technique de lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle	Biodiversité et ressources locales du territoire et contrôle des ravageurs
Intégration des plantes (espèces) mellifères	Biodiversité et ressources locales du territoire et contrôle des ravageurs
Présence des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	Contrôle des ravageurs, contrôle des adventices et sécurité nutritionnelle des produits
Utilisation de la technique de faux-semis	Contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Adaptation de la date de semis (précoce ou tardif)	Contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Adaptation de la densité de la végétation	Contrôle des ravageurs et contrôle des adventices

Tous ces paramètres gardent les mêmes points attribués (autrement dit la même notation) à l'exception du paramètre *utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)* dont la note est fonction des indicateurs (Annexe 11). Pour la catégorie *des cultures annuelles sans cultures légumières*, l'écart entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible des exploitations (1, 3, 6 et 7) est significatif au niveau de la préservation de la ressource en eau (47%), l'implication sociale (26%) et la sécurité nutritionnelle des produits (25%). En revanche, cet écart est faible au niveau des autres indicateurs où il ne dépasse pas 13%. Les notes attribuées aux paramètres des indicateurs justifient les performances agro-environnementales et sociales obtenues au niveau *Exploitation* ainsi que les écarts constatés. Pour cela, nous commençons d'abord par l'analyse détaillée des paramètres en commun et nous rajoutons après les paramètres spécifiques à chaque indicateur en fonction des enjeux. Un tableau récapitulant toutes les notes attribuées est présenté à la fin de cette analyse (Tableau 26, page 179).

► ***Analyse des paramètres en commun***

Aucun des quatre exploitants n'intègre des légumineuses et/ou des CIPAN, des plantes de coupure et/ou mellifères dans la rotation, ne couvre le sol entre les lignes et/ou entre deux cultures, n'associe plusieurs cultures dans la même parcelle, n'utilise la lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle ni des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures et n'adapte la date de semis. Au niveau de ces paramètres, les scores des différentes exploitations restent donc à zéro.

Les quatre exploitants ne produisent pas de compost organique mais l'exploitant 7 est le seul à utiliser des engrais organiques sur plus de 75% de la SAU, ce qui lui permet d'obtenir quatre points contrairement aux autres exploitants. Les exploitants 1 et 6 travaillent plus de 80% de leurs sols superficiellement en l'absence du labour alors que les exploitants 7 et 3 en travaillent 66% et 40% respectivement, d'où l'attribution d'un seul point à chacun des deux exploitants 1 et 6, deux points à l'exploitant 7 et trois points à l'exploitant 3.

Les quatre exploitations possèdent des infrastructures agroécologiques (des bandes enherbées et/ou des superficies en gel fixe) mais avec des pourcentages différents: quatre points pour l'exploitation 1 (environ 7% de la SAU), un seul point pour l'exploitation 3 (1% seulement de la SAU), cinq points pour l'exploitation 6 (8% de la SAU) et finalement deux points pour l'exploitation 7 (environ 3,5 % de la SAU). La superficie moyenne des parcelles des exploitations 1, 3 et 6 est inférieure à 5 ha alors que celle de l'exploitation 7 est égale à 5,3 ha, d'où l'attribution de trois points à l'exploitation 7 et quatre points aux trois autres exploitations.

En ce qui concerne la rotation des cultures, deux points ont été attribués à chaque exploitation. En effet, la durée de la rotation (2 ans) est la même pour les quatre exploitants qui ne pratiquent pas la succession des cultures nettoyantes avec d'autres salissantes, n'intègrent pas des légumineuses ni des prairies temporaires de courte ou longue durée et qui cultivent plus de 40% des grandes cultures (céréales et/ou oléagineux) dans leurs rotations.

La somme de sept points a été attribuée aux deux exploitations 3 et 6 au niveau de l'assolement des cultures alors que les exploitations 1 et 7 ont obtenu respectivement 10 et 8 points. Pour l'exploitation 1, la surface assolable est supérieure à 75% de la SAU dont le tournesol oléique occupe la plus grande partie (entre 25% et 30%). L'exploitation 7 possède la même surface assolable que l'exploitation 1 mais la surface occupée par la culture dominante, le blé tendre d'hiver, est plus grande (entre 35% et 40%). La surface assolable au niveau de l'exploitation 3 est la même que les exploitations 1 et 7 mais

la culture dominante, le tournesol oléique, occupe entre 40% et 45%. La surface assolable de l'exploitation 6 est inférieure aux autres (entre 50% et 75% de la SAU) avec une dominance pour le blé tendre d'hiver dont la surface est comprise entre 35% et 40%. Pour les exploitations 1, 3 et 7, la différence entre les points attribués est alors expliquée par la différence au niveau de la superficie de la culture dominante par rapport à la surface assolable: plus la superficie est grande, plus la note est faible. Les notes attribuées aux exploitants 1, 3 et 7 sont donc égales à 10, 7 et 8 respectivement. La superficie de la culture dominante de l'exploitation 6 est située dans le même intervalle que celle de l'exploitation 7 mais en présence d'une surface assolable inférieure, ce qui permet à l'exploitation 6 d'obtenir le même nombre de points que l'exploitation 3.

Au sujet de la diversité végétale, la somme de points la plus élevée (18 points) a été attribuée à l'exploitation 7. L'exploitation 1 arrive en seconde position avec quatorze points et les exploitations 3 et 6 occupent la troisième place en obtenant chacune neuf points. Ce classement est dû uniquement à la différence au niveau du nombre des espèces annuelles et leurs variétés végétales présentes dans chaque exploitation suite à l'absence des espèces pérennes et des prairies. Il existe 4 espèces annuelles et 5 variétés végétales dans les exploitations 3 et 6 alors que les exploitants 1 et 7 cultivent 5 et 6 espèces annuelles ainsi que 9 et 12 variétés végétales respectivement.

Les exploitants 1 et 3 n'irriguent pas leurs cultures alors que les exploitants 6 et 7 utilisent une irrigation localisée sur moins de 25% des surfaces irriguées. Pour cela, la somme de quatre points a été accordée aux exploitations 1 et 3 alors que les exploitations 6 et 7 ont obtenu un seul point chacune. La densité de la végétation est adaptée seulement au niveau de l'exploitation 1, elle est donc la seule à obtenir un point. Les deux exploitants 1 et 7 pratiquent le faux-semis sur moins de 20% de leurs SAU, un seul point a donc été attribué à chacun d'eux.

Contrairement aux exploitants 3 et 7 qui utilisent uniquement un désherbage chimique, les exploitants 1 et 6 désherbent mécaniquement toutes leurs parcelles agricoles, ce qui explique le fait d'accorder: *i)* zéro aux exploitations 3 et 7, et un seul point à chacune des exploitations 1 et 6 par rapport à la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la préservation de l'énergie et l'intensité et pénibilité du travail et *ii)* zéro aux exploitations 3 et 7, et cinq points à chacune des exploitations 1 et 6 par rapport à la fertilité du sol et le contrôle des adventices.

► ***Analyse des paramètres spécifiques à chaque indicateur en fonction des enjeux***

Enjeu "Environnement"

Par rapport à *la pollution des eaux et des sols*, les performances des quatre exploitations 1, 3, 6 et 7 sont respectivement de 11%, 5%, 13% et 14%. Aucun des quatre exploitants n'exerce le stockage et le traitement des eaux usées ni le recyclage des déchets non organiques. A l'exception de l'utilisation des fertilisants organiques et de la mise en place des infrastructures agroécologiques, les exploitants sont identiques pour le reste des paramètres de cet indicateur. Autrement dit, il n'y a pas une différence au niveau des pratiques et/ou actions agricoles menées. L'exploitant 7 est considéré comme le meilleur par rapport à l'utilisation des engrais organiques alors que l'exploitant 6 est en avance concernant la présence des infrastructures agroécologiques, ce qui explique leurs deux pourcentages de performance un peu plus élevés par rapport aux deux autres.

La même performance à l'égard de *la pollution de l'air* a été obtenue par les trois exploitations 1, 6 et 7, soit 11% de la performance maximale alors que l'exploitation 3 en représente 16%. Les notes attribuées au niveau de l'ensemble des paramètres de cet indicateur sont presque identiques pour les quatre exploitations mais avec une petite avancée en faveur de l'exploitation 3 au niveau du travail du sol, ce qui explique l'obtention d'un pourcentage de performance un peu plus élevé que les autres.

Les performances des exploitations 1, 3, 6 et 7 par rapport à *l'érosion-ruissellement* représentent respectivement 24%, 17%, 19% et 26% de la performance maximale. Aucun des quatre exploitants ne met en place des infrastructures antiérosives autres que les bandes enherbées. Les quatre exploitants ont obtenu les mêmes notes au niveau de tous les paramètres sauf ceux qui concernent l'assolement des cultures, l'utilisation des fertilisants organiques et la diversité végétale. En effet, l'exploitant 1 a obtenu la note la plus élevée au niveau de l'assolement des cultures alors que l'exploitant 7 se distingue des autres par une bonne diversité végétale et une utilisation des fertilisants organiques, ce qui leur permet d'avoir des pourcentages de performance plus grands.

La même performance à l'égard de *la fertilité du sol* a été enregistrée par les deux exploitations 1 et 7, soit 25% de la performance maximale alors que les deux autres exploitations 3 et 6 n'en représentent respectivement que 15% et 20%. Les notes attribuées aux quatre exploitations sont presque identiques au niveau de tous les paramètres sauf ceux qui concernent l'assolement des cultures, l'utilisation des fertilisants organiques et la diversité végétale où les deux exploitants 1 et 7 sont en premier rang, ce qui leur permet d'acquérir le pourcentage de performance le plus élevé.

Par rapport à *l'efficience de la fertilisation azotée*, le même pourcentage de performance a été obtenu par les deux exploitations 3 et 6, soit 20% de la performance maximale alors que les performances des exploitations 1 et 7 sont respectivement de 26% et 22%. Les quatre exploitants n'effectuent une analyse de l'azote minéral que sur une superficie inférieure à 25% de la SAU et ne fractionnent pas les apports azotés en fonction des besoins de leurs cultures. De ce fait, un seul point a été attribué à chacun d'eux. A l'exception du paramètre concernant l'assolement des cultures, les quatre exploitants sont identiques pour le reste des paramètres de cet indicateur. Au niveau de l'assolement des cultures, la meilleure note a été accordée à l'exploitant 1, ce qui lui permet d'obtenir la meilleure performance.

Les exploitations 1, 3, 6 et 7 représentent respectivement 36%, 54%, 18% et 7% de la performance maximale de *la préservation de la ressource en eau*. La consommation totale d'eau est supérieure à 50 000 m^3/an au niveau de l'exploitation 7, comprise entre 20 000 m^3 et 30 000 m^3/an au niveau de l'exploitation 6, et inférieure à 10 000 m^3/an au niveau des exploitations 1 et 3, d'où l'attribution d'un seul point à la première, quatre points à la deuxième et six points à chacune des deux dernières. Aucun des exploitants n'utilise des dispositifs pour récupérer et stocker les eaux de pluie ni un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation. L'exploitant 3 est le seul à cultiver cinq variétés végétales plus adaptées à la sécheresse, ce qui lui permet d'avoir cinq points de plus et d'obtenir donc la performance la plus élevée.

Les exploitations 6 et 7 ont obtenu la même performance par rapport à *la préservation de l'énergie*, soit 39% de la performance maximale alors que les exploitations 1 et 3 en représentent 48% et 52% respectivement. La consommation énergétique des quatre exploitants est comprise entre 200 et 300 l/ha, neuf points ont donc été attribués à chacun d'eux. Aucun des exploitants ne produit de l'énergie renouvelable et n'utilise des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation. Les quatre exploitants ont obtenu alors les mêmes notes au niveau de la

quantité totale d'énergie utilisée, la production de l'énergie renouvelable et l'utilisation des compteurs spécifiques pour surveiller la consommation. Au niveau de l'utilisation du désherbage mécanique, la différence entre les notes est négligeable (un seul point). Les exploitants 1 et 3 partagent la première place au niveau de l'utilisation d'un système d'irrigation économique mais c'est l'exploitant 3 qui possède la meilleure note au niveau du travail du sol, ce qui lui permet d'acquérir le pourcentage de performance le plus important.

A l'égard de *la biodiversité et ressources locales du territoire,* les performances des exploitations 1, 3, 6 et 7 sont respectivement de 22%, 15%, 17% et 21%. Aucun des exploitants ne cultive des espèces végétales anciennes et/ou des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition. Les notes attribuées aux quatre exploitations sont presque identiques au niveau de tous les paramètres sauf ceux qui concernent l'assolement des cultures et la diversité végétale où les deux exploitants 1 et 7 sont en avance, ce qui leur permet d'acquérir les pourcentages de performance les plus élevés.

Enjeu "Protection de la culture"

Les exploitations 1, 3, 6 et 7 représentent respectivement 20%, 12%, 14% et 22% de la performance maximale du *contrôle des ravageurs*. L'exploitant 1 est le seul à utiliser les plantes pièges comme une alternative à l'usage des insecticides, un point lui a donc été attribué. C'est lui qui possède aussi le plus de points au niveau de l'assolement des cultures et l'adaptation de la date de semis alors que l'exploitant 7 est considéré comme le meilleur pour l'utilisation des fertilisants organiques et la diversité végétale. Cela leur permet d'obtenir des pourcentages de performance plus grands.

Les exploitations 1 et 7 partagent le même pourcentage de performance par rapport au *contrôle des adventices*, soit 22% de la performance maximale alors que les performances des exploitations 3 et 6 sont respectivement de 12% et 15%. L'exploitant 1 partage la meilleure note avec l'exploitant 6 au niveau de l'utilisation du désherbage mécanique mais il est en avance concernant l'assolement des cultures et l'adaptation de la densité de la végétation. L'exploitant 7 possède les meilleures notes au niveau de l'utilisation des fertilisants organiques et de la diversité végétale. Cela permet à ces deux exploitants d'avoir un pourcentage de performance plus élevé.

Enjeu "Société"

Par rapport à *l'implication sociale*, les performances des quatre exploitations 1, 3, 6 et 7 sont égales à 17%, 9%, 35% et 26% respectivement. Aucun des exploitants ne transforme des produits sur son exploitation, ne développe les circuits courts de vente (vente directe) ni l'agrotourisme dans la région, ne participe dans des organisations et/ou institutions de conseil et de démonstration, n'ouvre son exploitation à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation, n'organise des rencontres entre agriculteurs et ne met en commun ses équipements et ses services. La part du chiffre d'affaires provenant du plus gros client est la même pour les quatre exploitations, elle est supérieure ou égale à 50%, un point a donc été attribué à chacune d'elles. Les exploitants 6 et 7 sont les seuls à diversifier leurs débouchés et leurs réseaux commerciaux de vente (ile ne vendent pas tous leurs produits agricoles à la coopérative Qualisol), ce qui explique l'attribution de trois et deux points respectivement. Tous les exploitants travaillent en réseau sauf l'exploitant 3, ce qui leur permet d'obtenir un point chacun. Contrairement aux exploitants 3 et 6, les exploitants 1 et 7 sont adhérents à des structures associatives, un point leur a donc été accordé. Seule l'exploitation 6 a la moitié de sa main d'œuvre embauchée non familiale, ce

qui va permettre de lui rajouter deux points. La meilleure performance a été obtenue par l'exploitant 6 qui se distingue par la présence de la main d'œuvre non familiale sur son exploitation et le recours à deux autres débouchés (mis à part la coopérative Qualisol) pour vendre ses productions agricoles. A l'égard de *la sécurité nutritionnelle des produits,* les performances des trois exploitations 1, 3 et 6 sont nulles alors que l'exploitation 7 a enregistré 25% de la performance maximale grâce à l'utilisation des fertilisants organiques.

Les exploitations 1 et 6 partagent le même pourcentage de performance par rapport à *l'intensité et pénibilité du travail*, soit 46% de la performance maximale alors que les performances des deux exploitations 3 et 7 sont respectivement de 50% et 42%. Les exploitants n'arrivent pas à diminuer leur rythme de travail difficile (ils ne prennent pas souvent des jours de repos ni des vacances) mais ils favorisent un bon environnement de travail (ils n'habitent pas loin de leurs exploitations, ils essayent de ne pas travailler dans le bruit ni la poussière, ils organisent bien leurs tâches agricoles, ils utilisent du matériel et des équipements sécurisés, etc.). Par conséquent, la somme de six points a été donnée à chacun d'eux. Les exploitations ont donc obtenu les mêmes notes au niveau de la couverture du sol, le rythme de travail et son environnement. Au niveau de la superficie moyenne des parcelles et le désherbage mécanique, la différence entre les exploitations est négligeable. Or, l'exploitant 3 a marqué la meilleure note en ce qui concerne le travail du sol, ce qui lui permet d'atteindre la moitié du seuil de performance.

Les indices de performance (qui représentent la somme des notes attribuées aux différents paramètres) des exploitations par rapport aux différents indicateurs reflètent donc les pourcentages de performance obtenus au niveau *Exploitation* : plus l'indice de performance est important, plus la performance est élevée (Tableau 25).

Tableau 25. Indices et pourcentages de performance agro-environnementale et sociale des exploitations 1, 3, 6 et 7 au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2016)

	Exp 1		Exp 3		Exp 6		Exp 7	
	Indice de performance	Performance (%)	Indice de performance	Performance (%)	Indice de performance	Performance (%)	Indice de performance	Performance
Pollution des eaux et des sols	6	11	3	5	7	13	8	**14**
Pollution de l'air	2	11	3	**16**	2	11	2	11
Erosion-ruissellement	36	24	26	17	29	19	39	**26**
Fertilité du sol	36	**25**	22	15	29	20	36	**25**
Efficience de la fertilisation azotée	13	**26**	10	20	10	20	11	22
Préservation de la ressource en eau	10	36	15	**54**	5	18	2	7
Préservation de l'énergie	15	48	16	**52**	12	39	12	39
Biodiversité et ressources locales du territoire	34	**22**	23	15	27	17	33	21
Contrôle des ravageurs	33	20	19	12	23	14	35	**22**
Contrôle des adventices	33	**22**	18	12	23	15	33	**22**
Implication sociale	4	17	2	9	8	**35**	6	26
Sécurité nutritionnelle des produits	0	0	0	0	0	0	4	**25**
Intensité et pénibilité du travail	12	46	13	**50**	12	46	11	42

Tableau 26. Notes attribuées aux différents paramètres au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2016)

Paramètres	Notes attribuées pour chaque exploitation
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN Intégration des plantes de coupure dans la rotation Intégration des plantes (espèces) mellifères Couverture du sol Association des cultures dans la même parcelle Utilisation de la technique de lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle Présence des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures Adaptation de la date de semis	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	Production du compost organique Exp 1, 3, 6, 7 : **0** Fertilisation organique Exp 1, 3, 6 : **0** Exp 7 : **4**
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	Travail du sol superficiel sans retournement et sans labour Exp 1, 6 : **1** Exp 3 : **3** Exp 7 : **2**
Mise en place des infrastructures agroécologiques	Exp 1 : **4** Exp 3 : **1** Exp 6 : **5** Exp 7 : **2**
Dimension moyenne des parcelles	Exp 1, 3, 6 : **4** Exp 7 : **3**
Rotation des cultures	Durée de la rotation Exp 1, 3, 6, 7 : **1** Succession des cultures nettoyantes avec d'autres salissantes & légumineuses et prairies temporaires Exp 1, 3, 6, 7 : **0** Céréales et oléagineux Exp 1, 3, 6, 7 : **1**
Assolement des cultures	SAU assolable Exp 1, 3,7 : **4** Exp 6 : **3** Culture la plus significative Exp 1 : **6** Exp 3 : **3** Exp 6, 7 : **4**
Diversité végétale	Espèces annuelles cultivées Exp 1 : **5** Exp 3, 6 : **4** Exp 7 : **6** Variétés cultivées pour chaque espèce annuelle Exp 1 : **9** Exp 3, 6 : **5** Exp 7 : **12** Espèces pérennes & prairies permanentes et/ou temporaires Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	Exp 1, 3 : **4** Exp 6, 7 : **1**
Adaptation de la densité de la végétation	Exp 1 : **1** Exp 3, 6, 7 : **0**
Utilisation de la technique de faux-semis	Exp 1, 7 : **1** Exp 3, 6 : **0**
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	**Contrôle des adventices & Fertilité du sol** Exp 1, 6 : **5** Exp 3, 7 : **0** **Autres indicateurs** Exp 1, 6 : **1** Exp 3, 7 : **0**
Stockage et traitement des eaux usées Recyclage des déchets non organiques	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Mise en place des infrastructures antiérosives	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	Exp 1, 3, 6, 7 : **1**
Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Diminution de la consommation d'eau	Exp 1, 3 : **6** Exp 6 : **4** Exp 7 : **1**
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse	Exp 1, 6, 7 : **0** Exp 3 : **5**
Diminution de la consommation énergétique	Exp 1, 3, 6, 7 : **9**
Production de l'énergie renouvelable Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Présence des espèces végétales anciennes Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, etc.)	Exp 3, 6, 7 : **0** Exp 1 : **1**
Transformation des produits sur l'exploitation Développement des circuits courts (la vente directe) & de l'agrotourisme Intégration ou participation dans des organisations et/ou institutions de conseil	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Ouverture de l'exploitation à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires …	Exp 1, 3, 6, 7 : **1**
Diversification clientèle	Exp 1, 3, 6, 7 : **1**
Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente	Exp 1, 3 : **0** Exp 6 : **3** Exp 7 : **2**
Renforcement de la communication entre les agriculteurs	Exp 1, 6, 7 : **1** Exp 3 : **0**
Intégration dans des structures associatives	Exp 1, 7 : **1** Exp 3, 6 : **0**
Embauche de la main d'œuvre	Exp 1, 3, 7 : **0** Exp 6 : **2**
Diminution du rythme de travail difficile	Exp 1, 3, 6, 7 : **0**
Présence d'un bon environnement de travail	Exp 1, 3, 6, 7 : **6**

9.1.2. Analyse des résultats au niveau "Parcelle"

D'après les résultats obtenus en fonction des exploitations ou cultures, nous avons constaté que les performances des différentes cultures d'une même exploitation agricole ou les performances d'une même culture au niveau de plusieurs exploitations à l'égard des indicateurs peuvent être inférieures, égales ou supérieures à 50% des seuils prédéfinis. Certaines performances, surtout au niveau des deux exploitations biologiques, sont égales aux performances maximales. Nous avons également remarqué que l'écart entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible des cultures appartenant à la même exploitation ou d'une même culture appartenant à plusieurs exploitations peut être important, négligeable ou nul. En effet, par rapport à un indicateur donné, il peut arriver que le même pourcentage de performance soit attribué à plusieurs cultures de la même exploitation agricole ou à la même culture au niveau de plusieurs exploitations, et que l'écart entre les pourcentages de performance soit grand ou ne soit pas très important.

Par rapport à chaque indicateur, les performances des différentes cultures d'une même exploitation (ou les performances d'une même culture au niveau de plusieurs exploitations) et l'écart observé entre la performance la plus élevée et la performance la plus faible dans les deux cas sont fonction des pratiques en matière de traitements phytosanitaires et de fertilisation menées par chaque exploitant. En effet, le pourcentage de performance obtenu par rapport à un indicateur donné reflète les notes attribuées à ses paramètres. En outre, l'absence d'une différence significative entre les performances enregistrées est due généralement à l'absence d'un écart important au niveau des notes accordées aux paramètres des différents indicateurs. Afin de comprendre les résultats obtenus au niveau *Parcelle* et les raisons d'une telle différence entre les performances, il faut donc analyser les paramètres des différents indicateurs. Pour cela, nous prenons l'exemple de l'exploitation 1. Il faut souligner qu'à ce niveau, chaque paramètre est partagé par plusieurs indicateurs. Nous distinguons cinq catégories de paramètres:

Le paramètre *utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)* se retrouve au niveau de la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, la biodiversité et ressources locales du territoire, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits. Le nombre de points attribués à ce paramètre reste le même quelque soit la culture ou l'indicateur mais change en fonction de la nature de l'exploitation: conventionnelle ou biologique.

Les paramètres *utilisation du cuivre* et *utilisation du soufre* se retrouvent au niveau de la pollution des eaux et des sols et le contrôle des ravageurs. Pour ces paramètres, le nombre de points attribués reste le même quelque soit la culture mais change en fonction des indicateurs au niveau des exploitations conventionnelles. Au niveau des exploitations biologiques, ce nombre de points peut changer d'une culture à l'autre mais reste le même quelque soit l'indicateur.

Le paramètre *utilisation des pesticides chimiques* intervient au niveau de la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, la biodiversité et ressources locales du territoire, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits. Pour ce paramètre, le nombre de points attribués est le même quelque soit l'indicateur mais peut changer en fonction des cultures au

niveau des exploitations conventionnelles. Au niveau des exploitations biologiques, ce nombre de points reste le même quelque soit la culture ou l'indicateur.

Le paramètre *gestion raisonnée de la fertilisation potassique* intervient au niveau de la fertilité du sol, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits. Le nombre de points attribués à ce paramètre reste le même quelque soit l'indicateur mais peut changer en fonction des cultures et des exploitations.

Les paramètres *gestion raisonnée de la fertilisation azotée* et *gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée* dont les nombres de points accordés changent en fonction des indicateurs, des cultures et des exploitations. Le paramètre *gestion raisonnée de la fertilisation azotée* intervient au niveau de la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices, le bien-être animal et la sécurité nutritionnelle des produits. Le paramètre *gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée* intervient au niveau de la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, le contrôle des ravageurs, le contrôle des adventices et la sécurité nutritionnelle des produits.

En comparant les résultats au niveau des différentes cultures de l'exploitation 1, nous avons constaté que par rapport à la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, l'IRTE, l'IRSA et la sécurité nutritionnelle des produits, l'écart obtenu entre le pourcentage de performance le plus important et le pourcentage de performance le plus faible est respectivement de 36%, 62%, 87% , 87% et 36%. En revanche, cet écart n'est pas très grand au niveau des autres indicateurs, il ne dépasse pas 18%. Nous avons aussi pu déterminer la culture ou les cultures les plus performantes par rapport à chaque indicateur (Tableau 27). Les notes attribuées aux différents paramètres des indicateurs justifient les résultats obtenus. Nous commençons par l'analyse des différents paramètres et nous expliquons par la suite les pourcentages de performance enregistrés en fonction des indicateurs. Un tableau récapitulant toutes les notes attribuées est présenté à la fin de cette analyse (Tableau 28, page 183).

Tableau 27. Les cultures les plus performantes de l'exploitation 1 par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015 et 2016)

Cultures	Indicateurs
Tournesol oléique	Pollution des eaux et des sols et IRSA
Blé tendre d'hiver	Fertilité du sol et sécurité nutritionnelle des produits
Orge d'hiver	Contrôle des ravageurs et contrôle des adventices
Blé tendre d'hiver et blé dur d'hiver	Efficience de la fertilisation azotée
Orge d'hiver, blé tendre d'hiver et blé dur d'hiver	Biodiversité et ressources locales du territoire
Blé dur d'hiver	IRTE

Les IFT pondérés/ha du colza semences et du tournesol oléique sont presque identiques aux IFT/ha régionaux alors que ceux du blé dur d'hiver, du blé tendre d'hiver et de l'orge d'hiver sont inférieurs aux IFT/ha régionaux. En effet, les doses des produits phytosanitaires appliquées au niveau de ces trois dernières cultures sont inférieures aux doses homologuées. De ce fait, la somme de deux points a été accordée aux deux premières cultures alors que les trois dernières ont obtenu trois points chacune. Ces notes attribuées restent les mêmes au niveau de tous les indicateurs dont le paramètre *utilisation des pesticides chimiques* fait partie.

En ce qui concerne la gestion raisonnée de la fertilisation azotée, le résultat du bilan CORPEN est négatif pour le colza semences, le tournesol oléique et l'orge d'hiver alors que l'excédent d'azote est compris entre 20 kg/ha/an et 40 kg/ha/an pour les deux cultures blé dur d'hiver (32 kg/ha/an) et blé tendre d'hiver (25 kg/ha/an). Par conséquent, nous avons attribué: *1)* sept points aux trois premières cultures et cinq points aux deux dernières au niveau de la pollution des eaux et des sols, le contrôle des adventices et le contrôle des ravageurs; *2)* un seul point aux trois premières cultures et six points aux deux dernières au niveau de la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée et la sécurité nutritionnelle des produits.

Au sujet de la gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée, le résultat du bilan CORPEN est négatif pour le tournesol oléique. L'excédent du phosphore est inférieur à 15 kg/ha/an pour le colza semences (3 kg/ha/an), l'orge d'hiver (9 kg/ha/an) et le blé tendre d'hier (4 kg/ha/an), et supérieur à 30 kg/ha/an pour le blé dur d'hiver (38 kg/ha/an). Nous avons donc attribué: *1)* cinq points au tournesol oléique, trois points au colza semences, à l'orge d'hiver et au blé tendre d'hiver, et un seul point au blé dur d'hiver au niveau de la pollution des eaux et des sols; *2)* un seul point au tournesol oléique, quatre points au colza semences, à l'orge d'hiver et au blé tendre d'hiver, et deux points au blé dur d'hiver au niveau de la fertilité du sol, le contrôle des adventices, le contrôle des ravageurs et la sécurité nutritionnelle des produits.

A propos de la gestion raisonnée de la fertilisation potassique, le résultat du bilan CORPEN est négatif pour toutes les cultures. Par conséquent, un seul point a été donné à chaque culture au niveau de tous les indicateurs dont le paramètre *gestion raisonnée de la fertilisation potassique* fait partie. Les pesticides biologiques n'ont pas été utilisés par l'exploitant 1, aucun point n'a donc été attribué aux différentes cultures. Cette notation reste la même au niveau de tous les indicateurs dont le paramètre *utilisation des pesticides biologiques* fait partie. Même chose pour le cuivre et le soufre, ils n'ont pas été utilisés, de ce fait nous avons accordé à chaque culture la somme de quatre points au niveau de la pollution des eaux et des sols et zéro points au niveau du contrôle des ravageurs.

Tableau 28. Notes attribuées aux différents paramètres au niveau "Parcelle" (Trabelsi, 2016)

Paramètres	Notes attribuées pour chaque culture de l'exploitation 1
Utilisation des pesticides chimiques	Colza semences, tournesol oléique : **2** Orge, blé dur, blé tendre : **3**
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	**Pollution des eaux et des sols & Contrôle des adventices & Contrôle des ravageurs** Colza semences, tournesol oléique, orge : **7** blé dur, blé tendre : **5** **Fertilité du sol & Efficience de la fertilisation azotée & Sécurité nutritionnelle des produits** Colza semences, tournesol oléique, orge : **1** Blé dur, blé tendre : **6**
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	**Pollution des eaux et des sols** Tournesol oléique : **5** Colza semences, orge, blé tendre : **3** Blé dur : **1** **Fertilité du sol & Contrôle des adventices & Contrôle des ravageurs & Sécurité nutritionnelle des produits** Tournesol oléique : **1** Colza semences, orge, blé tendre : **4** Blé dur : **2**
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique	Colza semences, tournesol oléique, orge, blé dur, blé tendre : **1**
Utilisation des pesticides biologiques	Colza semences, tournesol oléique, orge, blé dur, blé tendre : **0**
Utilisation du cuivre & du soufre	**Pollution des eaux et des sols** Colza semences, tournesol oléique, orge, blé dur, blé tendre : **4** **Contrôle des ravageurs** Colza semences, tournesol oléique, orge, blé dur, blé tendre : **0**

Les indices de performance des cultures par rapport aux différents indicateurs reflètent donc les pourcentages de performance agro-environnementale et sociale obtenus au niveau *Parcelle*: plus l'indice de performance est grand, plus la performance est élevée (Tableau 29).

Tableau 29. Indices et pourcentages de performance agro-environnementale et sociale des cultures de l'exploitation 1 (Trabelsi, 2016)

	Colza semences		Tournesol oléique		Orge		Blé dur		Blé tendre	
	Indice	%	Indice	%	Indice	%	Indice	%	Indice	%
Pollution des eaux et des sols	20	74	22	**81**	21	78	17	63	19	70
Fertilité du sol	8	32	5	20	9	36	12	48	14	**56**
Efficience de la fertilisation azotée	1	13	1	13	1	13	6	**75**	6	**75**
Biodiversité et ressources locales du territoire	2	29	2	29	3	**43**	3	**43**	3	**43**
Contrôle des ravageurs	14	47	11	37	15	**50**	11	37	13	43
Contrôle des adventices	14	58	11	46	15	**63**	11	46	13	54
Sécurité nutritionnelle des produits	8	32	5	20	9	36	12	48	14	**56**

Par rapport à *la pollution des eaux et des sols*, le meilleur indice de performance a été obtenu par le tournesol oléique. En raison de l'absence des excédents azoté et phosphaté, cette culture est la plus performante par rapport à cet indicateur avec 81% de sa performance maximale.

Les indices de performance les plus élevés par rapport à *la fertilité du sol* et *la sécurité nutritionnelle des produits* ont été obtenus par le blé tendre. En recevant des quantités d'azote et de phosphore

suffisantes mais avec des excédents pas très importants du point de vue quantité et en lui appliquant des doses phytosanitaires inférieures aux doses homologuées, cette culture est donc considérée comme la plus performante par rapport à ces indicateurs avec une performance de 56%.

La note la plus élevée de *l'efficience de la fertilisation azotée* a été accordée au blé tendre d'hiver et au blé dur d'hiver. L'apport des quantités suffisantes d'azote à ces deux cultures leur permet d'être les plus performantes par rapport à cet indicateur avec 75% de la performance maximale.

Par rapport à *la biodiversité et ressources locales du territoire*, l'indice de performance le plus important a été accordé à l'orge d'hiver, au blé dur d'hiver et au blé tendre d'hiver. Le recours à des doses phytosanitaires inférieures aux doses homologuées pour le traitement de ces trois cultures, leur permet d'être les cultures les plus performantes par rapport à cet indicateur en obtenant chacune 43% de la performance maximale.

Les meilleurs indices de performance par rapport au *contrôle des ravageurs* et *des adventices* ont été obtenus par l'orge d'hiver. En raison de la présence d'un faible excédent phosphaté, de l'absence d'un excédent azoté et de l'application des doses phytosanitaires inférieures aux doses homologuées, cette culture est donc la plus performante par rapport à ces indicateurs avec respectivement 50% et 63% de la performance maximale.

Les IRTE pondérés/ha du colza semences, du tournesol oléique, de l'orge d'hiver, du blé dur d'hiver et du blé tendre d'hiver sont respectivement de 4676, 579, 810, 403 et 593. Par conséquent, la notation est comme suit: un seul point au colza semences, 24 points à l'orge d'hiver, 26 points au tournesol oléique et au blé tendre d'hiver, et 27 points au blé dur d'hiver. L'indice le plus élevé est alors accordé au blé dur d'hiver, ce qui lui permet d'obtenir le pourcentage de performance le plus élevé, soit 90%. Le colza semences possède l'IRTE pondéré/ha le plus élevé, donc la note la plus faible par rapport aux autres cultures. Elle est donc la culture la plus à risque pour l'environnement en termes de toxicité des produits phytosanitaires utilisés pour son traitement. En effet, contrairement aux autres cultures, le colza semences est traité huit fois en utilisant six produits phytosanitaires (FURRY 10EW (deux traitements), FUSILADE MAX (deux traitements), NOVALL, KARATE ZEON, JOAO, et MAVRIK FLO) dont deux considérés comme dangereux pour l'environnement à cause de leurs valeurs IRTE/ha élevées: FURRY 10EW (676) et KARATE ZEON (361).

Les IRSA pondérés/ha du colza semences, du tournesol oléique, de l'orge d'hiver, du blé dur d'hiver et du blé tendre d'hiver sont respectivement de 6464, 596, 1374, 759 et 1773. Par conséquent, la notation est comme suit: un seul point au colza semences, 21 points au blé tendre d'hiver, 23 points à l'orge d'hiver, 26 points au blé dur d'hiver et 27 points au tournesol oléique. L'indice le plus élevé est alors accordé au tournesol oléique, ce qui lui permet d'obtenir le pourcentage de performance le plus élevé, soit 90%. Le colza semences possède l'IRSA pondéré/ha le plus élevé, donc la note la plus faible par rapport aux autres cultures. Elle est donc la culture la plus nocive à la santé de l'applicateur en termes de toxicité des produits phytosanitaires utilisés pour son traitement. Le FUNGISTOP FL est le produit qui possède la valeur IRSA/ha la plus élevée, soit 1785. Ce produit est utilisé pour le traitement du blé tendre d'hiver, mais malgré cette utilisation, cette culture n'est pas la plus dangereuse pour la santé de l'applicateur et ceci est dû au nombre de passages. En effet, ce produit est utilisé une seule fois pour traiter le blé tendre d'hiver alors qu'un autre produit (FURRY 10EW), dont

l'IRSA/ha est assez élevé également (858), est utilisé deux fois pour traiter le colza semences, ce qui explique une dangerosité plus élevée.

Parlons maintenant de la performance globale de l'ensemble des cultures ou la performance globale au niveau *Parcelle*. En fonction des résultats obtenus (Tableau 16, page 155 et figure 56, page 156), nous pouvons comparer les performances globales de toutes les cultures par rapport aux différents indicateurs au niveau de chaque exploitation agricole et/ou d'une exploitation à l'autre. Chaque culture contribue dans la performance globale au niveau *Parcelle*. Autrement dit, par rapport à un indicateur donné, une ou plusieurs cultures peuvent être à l'origine d'une bonne ou faible performance globale. Dans ce cas, l'exploitant peut alors améliorer davantage la performance globale de ses cultures en agissant sur celles dont les indices de performance (ou les pourcentages de performance) sont les plus faibles. Restons toujours avec l'exemple de l'exploitation 1. La performance globale des cultures par rapport à la fertilité du sol, par exemple, est égale à 34% sachant que les pourcentages de performance des différentes cultures à l'égard de ce même indicateur sont comme suit: tournesol oléique (20%), colza semences (32%), orge (36%), blé dur (48%) et blé tendre (56%). Le tournesol oléique et le colza semences sont donc les cultures les moins performantes par rapport à la fertilité du sol. L'exploitant 1 peut alors revoir les critères concernant leur traitement (doses phytosanitaires appliquées et fréquences de traitement) et leur fertilisation (quantités d'azote, de phosphore et de potassium à apporter).

La différence observée entre les performances globales obtenues que ce soit pour la même exploitation ou pour les différentes exploitations est due, comme il a été montré précédemment, à la différence au niveau des notes attribuées aux paramètres des indicateurs. En effet, les notes sont accordées en fonction des manières de traiter et/ou de fertiliser les différentes cultures. Nous analysons ainsi deux exemples pour les trois indicateurs IRTE, IRSA et fertilité du sol. Les exploitants 10 et 11 sont les meilleurs par rapport à l'IRTE et l'IRSA car ils n'utilisent pas de produits chimiques pour traiter leurs cultures, ils obtiennent donc la performance maximale par rapport à ces deux indicateurs. Ces deux exploitants sont les seuls à intégrer des légumineuses dans leurs rotations. En outre, malgré le critère biologique de leur mode de production, ils n'utilisent pas de pesticides biologiques, ce qui leur permet d'avoir la note maximale au niveau du paramètre *utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)*. Grâce aux notes attribuées juste au niveau de ces deux paramètres (légumineuses et produits biologiques), les deux exploitants 10 et 11 sont les meilleurs par rapport à la fertilité du sol. Cependant, si nous regardons de près les pourcentages de performance globale obtenus par rapport à cet indicateur, nous remarquons que la performance globale de l'exploitation 10 est plus élevée que celle de l'exploitation 11 (54% contre 43%) (Tableau 16, page 155). Ce sont donc les notes attribuées aux autres paramètres de l'indicateur fertilité du sol (*gestion raisonnée des fertilisations azotée, phosphatée et potassique*) qui sont à l'origine de cette légère différence. Ces notes ont été attribuées en fonction des quantités d'azote, de phosphore et de potassium apportées aux cultures dans chaque exploitation. Le blé tendre de qualité, le soja et le lin sont trois cultures que nous trouvons dans les deux exploitations. Le soja a obtenu les mêmes notes pour les trois paramètres au niveau des deux exploitations. Un seul point pour les fertilisations phosphatée et potassique car leurs bilans sont négatifs, et huit points pour la fertilisation azotée car il s'agit d'une légumineuse. Le blé tendre de qualité a obtenu la même note (1 point) pour les fertilisations phosphatée et potassique au niveau des deux exploitations car leurs bilans sont négatifs. En revanche pour la fertilisation azotée, il a eu 7 points au niveau de l'exploitation 11 suite à la présence d'un excédent azoté de 13 kg/ha et un seul point au niveau de l'exploitation 10 car le bilan est négatif. La note attribuée à la culture du lin pour la

fertilisation azotée est la même pour les exploitations 10 et 11 car le bilan est à chaque fois négatif alors que pour les fertilisations phosphatée et potassique, les notes sont différentes: 4 points (l'excédent phosphaté est égal à 2 kg/ha) et 1 seul point (le bilan est négatif) respectivement pour la fertilisation phosphatée; 5 points (le bilan est équilibré) et 1 seul point (le bilan est négatif) respectivement pour la fertilisation potassique. La différence entre les performances globales de l'ensemble des cultures des deux exploitations 10 et 11 par rapport à la fertilité du sol est donc expliquée par l'écart qui existe entre les sommes des notes accordées aux paramètres concernant la fertilisation N, P, K de cet indicateur.

9.1.3. Analyse des résultats au niveau "Global"

Certaines performances globales sont identiques à celles obtenues au niveau *Exploitation* alors que d'autres deviennent inférieures ou supérieures. Ce changement au niveau des performances globales obtenues est dû au type d'indicateurs. En effet, les indicateurs pour lesquels les performances obtenues ne sont pas généralement les mêmes sont ceux dont les paramètres sont divisés entre les deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle*. En ce qui concerne les indicateurs dont le calcul n'a été fait qu'au niveau *Exploitation*, les pourcentages de performance enregistrés restent les mêmes. Par conséquent, l'écart entre la meilleure performance globale et la performance globale la moins importante à l'égard d'un indicateur donné peut être réduit (jusqu'à 12%), amélioré (jusqu'à 10%) ou rester le même. Les deux exploitations biologiques (10 et 11) ne sont pas toujours les plus performantes par rapport à l'ensemble des indicateurs, elles peuvent même avoir des performances agro-environnementales et sociales globales très faibles par rapport à celles des exploitations conventionnelles dans certains cas. Les exploitations en polyculture-élevage (4, 5, 8 et 9) ne sont pas non plus les meilleures par rapport aux différents indicateurs. Elles peuvent avoir les mêmes performances globales ou des performances globales moins élevées que celles des exploitations biologiques ou conventionnelles en polyculture seulement. Par conséquent, des différences au niveau des performances agro-environnementales et sociales globales sont constatées entre les exploitations de la même catégorie (mêmes mode et système de production, et productions agricoles), entre les exploitations qui appartiennent à des catégories différentes et entre les exploitations agricoles conventionnelles et biologiques.

Les écarts observés entre les performances des exploitations appartenant à la même catégorie sont dus à la différence au niveau des actions et/ou des techniques agricoles menées par chaque exploitant à l'échelle de l'exploitation (mise en place des infrastructures agroécologiques, production du compost, désherbage mécanique, etc.) et/ou de la parcelle (traitement chimique ou biologique et fertilisation des cultures). Toutefois, cette conclusion ne concerne pas uniquement les exploitations de la même catégorie, mais aussi celles qui appartiennent à des catégories différentes que ce soit conventionnelles ou biologiques. Le fait d'adopter un mode de production biologique et/ou d'intégrer l'élevage peut avoir de nombreux avantages en termes de production, de conservation de l'environnement et de protection de la santé, mais en revanche ne veut pas dire que l'exploitation est forcément performante "agroécologiquement" à tous les niveaux. En effet, la performance dépend des pratiques agricoles et des façons de gestion menées par l'exploitant. En l'absence d'un usage des pesticides chimiques et biologiques, une exploitation biologique ne génère pas un risque sur l'environnement et/ou la santé, mais par contre elle peut être par exemple très consommatrice en énergie et/ou en eau. La présence des animaux sans utiliser leurs déjections pour produire du compost organique sur l'exploitation permet

d'accroitre les bénéfices de l'exploitant en matière de production animale, mais en revanche ne permet pas d'améliorer la performance par rapport à la fertilité du sol, l'érosion-ruissellement, etc.

Nous prenons l'exemple des deux exploitations 1 (conventionnelle) et 10 (biologique) et comparons leurs performances globales par rapport à l'IRTE, l'IRSA, la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol et la préservation de la ressource en eau (Tableau 20, page 162). Par rapport à l'IRTE et l'IRSA, les performances globales de l'exploitation 10 sont égales aux seuils (100%) alors que celles de l'exploitation 1 représentent respectivement 71% et 67% de la performance maximale. Les pesticides chimiques ne sont pas utilisés au sein de l'exploitation 10 contrairement à l'exploitation 1, ce qui explique la performance maximale obtenue par rapport aux deux indicateurs. Par rapport à la SAU totale de l'exploitation 10, 26% et 22% sont occupés respectivement par des légumineuses et des cultures associées, 45% est fertilisé avec des engrais organiques, 22% est couvert en permanence et 10% est constitué de prairies permanentes. L'exploitation 1 ne présente aucun de ces critères. En outre, la durée de la rotation au niveau de l'exploitation 10 est de quatre ans alors que celle au niveau de l'exploitation 1 est égale à deux ans. Neuf espèces annuelles et vingt-deux variétés végétales sont présentes au niveau de l'exploitation 10 alors que l'exploitation 1 n'en possèdent que cinq et neuf respectivement. La différence au niveau de tous ces critères permettent à l'exploitation 10 d'obtenir des notes plus élevées que l'exploitation 1 pour les paramètres *intégration des légumineuses et/ou des CIPAN, couverture permanente du sol, utilisation des fertilisants organiques, rotation des cultures, association des cultures dans la même parcelle et diversité végétale*. Ce qui lui permet ainsi d'avoir des pourcentages de performance plus grands par rapport à la pollution des eaux et des sols et la fertilité du sol au niveau *Exploitation*. Au niveau *Parcelle*, les performances globales de toutes les cultures de l'exploitation 10 par rapport à ces deux indicateurs sont respectivement de 80% et 54% alors que celles de l'exploitation 1 sont égales à 69% et 34% respectivement. Le fait d'avoir des pourcentages de performance plus importants par rapport à la pollution des eaux et des sols et la fertilité du sol aux deux niveaux *Exploitation* et *Parcelle* permet à l'exploitation 10 d'être plus performante que l'exploitation 1 à l'égard de ces deux indicateurs. La consommation d'eau au sein de l'exploitation 10 est comprise entre 20 000 et 30 000 m^3/an alors que l'exploitant 1 consomme beaucoup moins (< 10 000 m^3). Contrairement à l'exploitant 10, l'exploitant 1 n'irrigue pas ses différentes cultures. Cette consommation réduite d'eau au niveau de l'exploitation 1 explique le pourcentage de performance global obtenu à l'égard de la préservation de la ressource en eau : 36% (exploitation 1) contre 16% (exploitation 10) de la performance maximale.

L'exploitation 8 appartient à la catégorie des *cultures annuelles sans cultures légumières et élevage*, mais malgré la présence de l'élevage ses performances sont, dans la plupart des cas, faibles par rapport à celles des deux exploitations biologiques et de certaines exploitations conventionnelles sans élevage. Par exemple, les performances globales de cette exploitation par rapport à la pollution des eaux et des sols, l'érosion-ruissellement et la fertilité du sol sont respectivement de 32%, 22% et 21% des performances maximales alors que d'autres exploitations ne possédant pas d'élevage ont obtenu des pourcentages de performance supérieurs: 34% par rapport à la pollution des eaux et des sols au niveau de l'exploitation 7, 48% par rapport à l'érosion-ruissellement au niveau de l'exploitation 10, 33% par rapport à la fertilité du sol au niveau de l'exploitation 11, etc. (Tableau 20, page 162). Cela peut s'expliquer par le simple fait que l'exploitant 8 ne produit pas du compost organique en utilisant les déjections de son bétail. En effet, il pouvait être parmi les meilleurs s'il remplace les engrais chimiques azotés, potassiques et phosphatés par d'autres organiques issus des déjections animales

mélangées à des matières végétales (paille, litière, etc.). L'utilisation des engrais organiques permet d'améliorer la structure du sol, sa teneur en matière organique et sa capacité de rétention d'eau, et par conséquent de réduire le transfert des nitrates et des phosphates vers les cours d'eau et les nappes phréatiques ainsi que le risque d'érosion et de ruissellement, et de rétablir la fertilité du sol.

Afin d'améliorer la performance agro-environnementale et sociale globale d'une exploitation agricole donnée lors de sa transition agroécologique, des pistes possibles peuvent être proposées en fonction des performances obtenues par rapport aux différents indicateurs.

9.2. Amélioration des performances agro-environnementales et sociales globales

Des techniques et/ou actions agricoles peuvent être suggérées selon la catégorie de l'exploitation afin de réaliser des performances meilleures ou voire même d'atteindre les performances maximales par rapport aux différents indicateurs. Pour les indicateurs calculés au niveau de l'exploitation ou de la parcelle, l'intervention pour l'amélioration de la transition agroécologique ne peut se faire ainsi qu'au niveau de l'exploitation en agissant sur les différentes pratiques agricoles ou au niveau de la parcelle en mettant l'accent sur les techniques de fertilisation et de traitements phytosanitaires. Pour les indicateurs dont le calcul est fait sur les deux niveaux, cette intervention peut être faite au niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle. Or, avant de proposer les pistes d'amélioration possibles pour l'exemple de la catégorie *"cultures annuelles sans cultures légumières"*, il faut éclaircir quelques points concernant les niveaux *Exploitation et Parcelle*. Ces points sont importants à repérer et à prendre en considération lors de la proposition des alternatives afin de choisir le ou les scénarios appropriés et d'assurer de bons résultats.

►Points liés au niveau "Exploitation"

En faisant référence aux problèmes liés à l'utilisation des désherbants chimiques (des herbicides), leur substitution par un désherbage mécanique devient donc une évidence. Or, les effets de ce dernier sont fonction des objectifs. En effet, la pratique d'un désherbage mécanique sur la plupart ou la totalité des parcelles culturales participe à améliorer la fertilité du sol et à rendre plus efficace la lutte contre les adventices. En revanche, elle a des impacts négatifs sur la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la préservation de l'énergie et l'intensité et pénibilité du travail. Bien que sa pratique reste privilégiée par rapport à un désherbage chimique, un désherbage mécanique est donc généralement déconseillé dans une transition agroécologique car ses effets négatifs sont plus nombreux par rapport à ses impacts positifs. Un choix concernant la superficie à désherber mécaniquement est donc primordial selon les objectifs de l'agriculteur.

La mise en place des infrastructures agroécologiques est un élément essentiel dans une transition agroécologique. L'exploitant doit mettre en place plusieurs sortes de ces infrastructures (des bandes enherbées, des haies, des bosquets, des arbres isolés, des prairies, etc.) et leur offrir plus de superficies, aller même jusqu'à 10% de la SAU. En effet, même si elles sont présentes sur les exploitations enquêtées, la présence de ces infrastructures reste quand même limitée du point de vue diversification (quelques bandes enherbées et petites surfaces en gel fixe seulement) et superficie.

La mise en place des infrastructures agroécologiques doit suivre une certaine logique, nous ne pouvons pas les implanter n'importe où dans le champ agricole. Le but est de limiter au maximum le recours aux pesticides tout en maintenant une diversité végétale et animale variée. Ces infrastructures ne doivent subir aucun traitement, elles doivent donc être implantées là où nous devons minimiser l'utilisation des pesticides chimiques. Par conséquent, il doit y avoir une logique entre la répartition spatiale des infrastructures agroécologiques et la pratique phytosanitaire. Or, notre étude a montré que cette logique est parfois absente. Prenons le cas de l'exploitation 1 où l'arrangement spatial des bandes enherbées ou des surfaces en gel fixe ne prend pas toujours en compte la fréquence de traitement chimique (Figure 65). En effet, les bandes enherbées et les surfaces en gel se retrouvent parfois au bord des parcelles recevant plus de traitements que d'autres (c'est-à-dire leur pression phytosanitaire est plus importante que d'autres parcelles): une bande enherbée est implantée au bord de la parcelle du colza semences (IFT/ha = 6,8) et un gel fixe est mis en place au bord de la parcelle du blé dur (IFT/ha = 2,5) alors que ces infrastructures sont absentes au bord des parcelles recevant moins de traitements comme le blé tendre (IFT/ha = 1,3).

D'après notre échantillon, la mise en place des bandes enherbées et des surfaces en gel fixe est expliquée par une autre logique. En effet, étant donné que ces infrastructures peuvent jouer le rôle d'un filtre vert pour contrôler la qualité des eaux en limitant le transfert des polluants (pesticides et nitrates), elles sont implantées plutôt au bord des parcelles culturales traversées ou bordées par des cours d'eau indépendamment des doses et des fréquences de traitement. Autrement dit, l'organisation spatiale des infrastructures agroécologiques présentes sur les exploitations étudiées n'est pas fonction de la pression phytosanitaire résultante mais plutôt de la localisation des parcelles culturales par rapport à un cours d'eau. L'exemple de l'exploitation 1 illustre bien cette logique (Figure 66). En effet, la plupart des parcelles au bord desquelles des bandes enherbées ou des surfaces en gel fixe ont été mises en place, sont traversées ou bordées par des cours d'eau. De plus, il ne faut pas oublier que les parcelles "changent" de cultures en fonction de la rotation menée par l'exploitant. Il est donc possible que les parcelles traversées ou bordées par des cours d'eau et occupées par des cultures à haute pression phytosanitaire cette année, soient occupées l'année prochaine par des cultures dont les IFT/ha sont faibles. C'est pour cette raison également que la mise en place des infrastructures agroécologiques au sein de l'exploitation agricole ne doit pas forcément être fonction de la pression phytosanitaire des cultures.

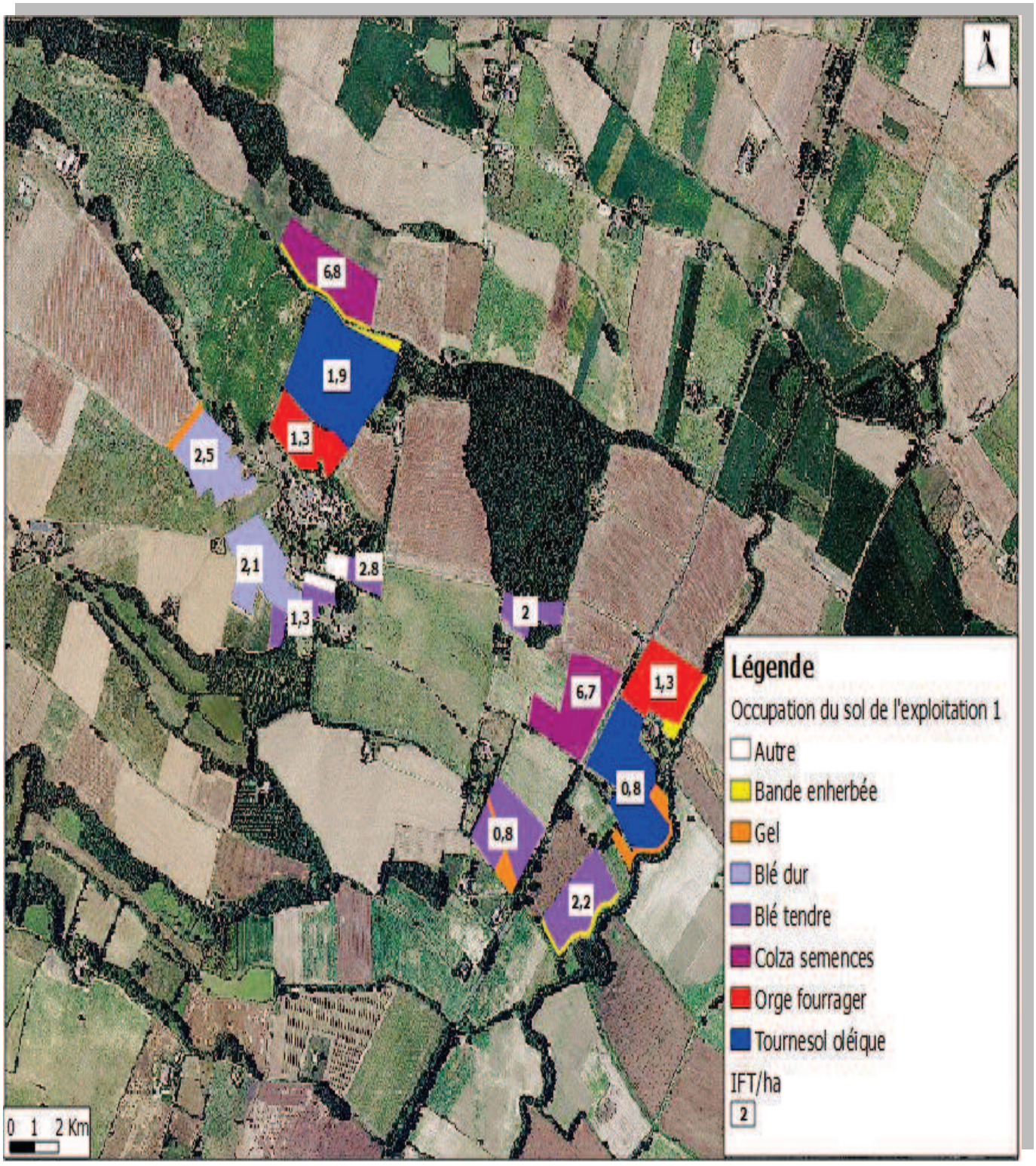


Figure 65. Occupation du sol et IFT/ha des cultures de l'exploitation 1 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

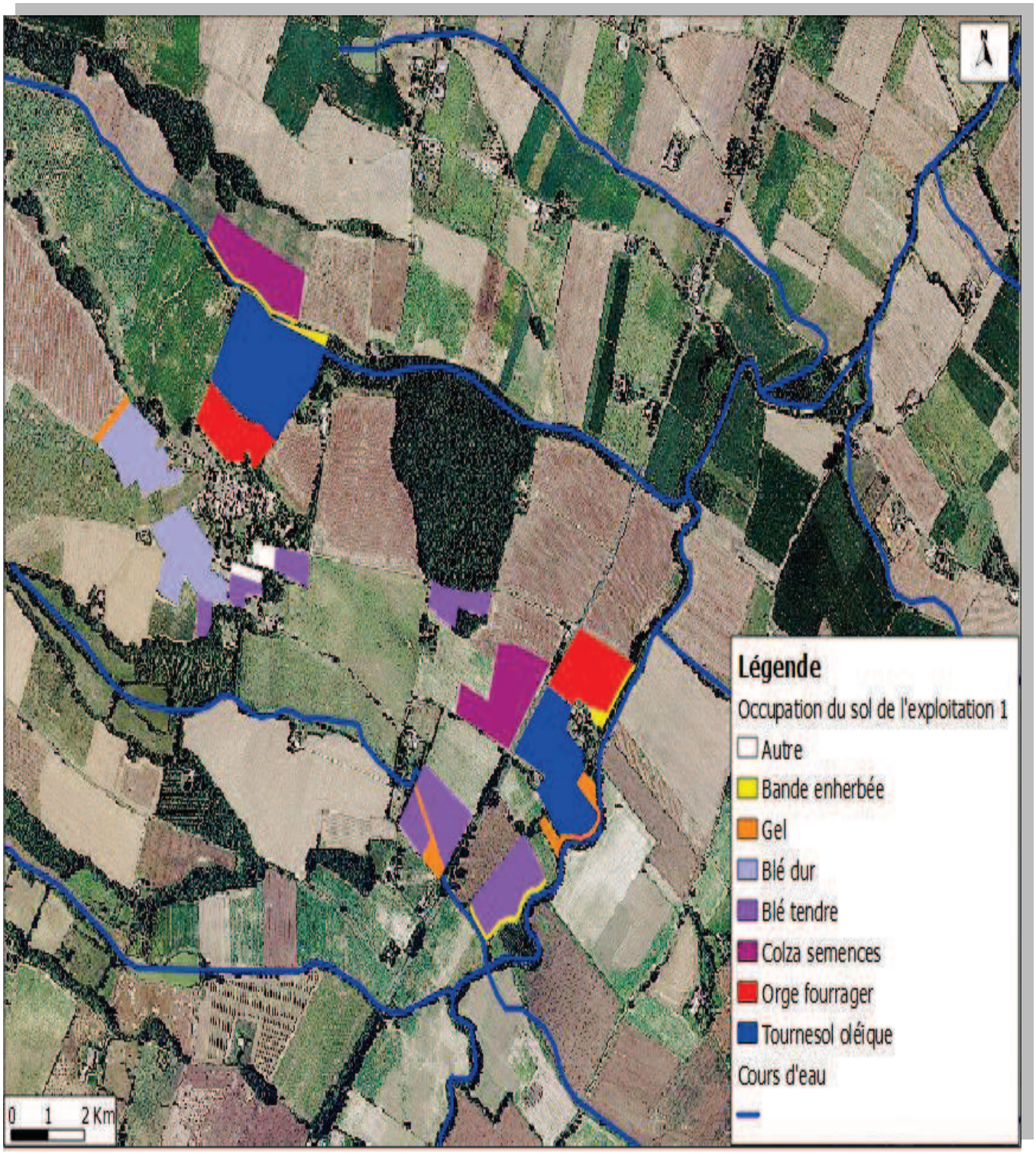


Figure 66. Cours d'eau traversant les parcelles culturales de l'exploitation 1 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

L'analyse de l'azote minéral doit être effectuée sur plusieurs parcelles culturales car les besoins d'une même culture changent en fonction des propriétés physico-chimiques des parcelles et de leurs stocks en azote. En effet, le reliquat d'azote minéral restant dans le sol après la récolte dépend du type de sol et du précédent cultural (la culture précédente). Par conséquent, il est nécessaire de tenir compte de ce reliquat dans le calcul des quantités d'azote à apporter à la culture. La carte de classification des types de sols peut faciliter ce calcul (Annexe 20.1). A partir de cette carte, nous pouvons identifier le type de sol de toutes les parcelles culturales de l'exploitation agricole.

►Points liés au niveau "Parcelle"

Par rapport à un indicateur donné, il existe au moins une culture plus performante que d'autres au sein de chaque exploitation agricole. Sa performance peut être inférieure ou supérieure à 50% du seuil, en atteignant parfois même la performance maximale (cas de l'IRSA et l'IRTE). Afin d'améliorer la performance globale de l'exploitation par rapport à chaque indicateur et d'atteindre pourquoi pas la performance maximale, chaque exploitant a donc intérêt à augmenter les performances de toutes les cultures, y compris la plus performante.

L'utilisation des pesticides chimiques permet de lutter contre les adventices et les ravageurs des cultures. Cependant, leur substitution par des produits naturels ne permet pas seulement de limiter les attaques de ces deux ennemis des cultures, mais aussi de réduire le risque de pollution des eaux et des sols suite aux transferts des polluants chimiques, de conserver la fertilité du sol et la biodiversité, et de garantir une bonne sécurité nutritionnelle des produits. Dans un processus de transition agroécologique et afin d'augmenter leurs performances par rapport à la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, la biodiversité, la sécurité nutritionnelle des produits et le contrôle des ravageurs et des adventices, les exploitants conventionnels sont donc appelés à remplacer les pesticides chimiques par la lutte biologique (bactéries, insectes, etc.) et/ou les produits naturels pour traiter leurs cultures. Comme ils peuvent aussi, dans un premier temps, commencer par réduire la pression phytosanitaire en diminuant les doses phytosanitaires appliquées, surtout celles qui sont supérieures aux doses homologuées, afin de ne pas dépasser les IFT/ha de référence (ou IFT/ha régionaux). Pour cela, nous pouvons nous baser sur la géolocalisation à l'aide d'un SIG pour faciliter l'intervention. En effet, la carte de classification des IFT pondérés/ha des différentes parcelles culturales (Annexe 20.4) nous permet d'identifier les parcelles présentant un risque de pression phytosanitaire élevé (c'est-à-dire des IFT/ha supérieurs aux IFT/ha régionaux). Le recours à des pesticides biologiques n'est pas fortement conseillé dans une transition agroécologique qui met en valeur les interactions entre les différents êtres vivants afin de lutter contre les ennemis des cultures. La mise en valeur des fonctionnalités des écosystèmes reste plus bénéfique que l'utilisation des pesticides biologiques pour les sols, les eaux, la biodiversité et les produits agricoles.

En vue d'améliorer la performance globale ou même d'atteindre la performance maximale par rapport à l'IRTE et/ou l'IRSA, les exploitants conventionnels doivent supprimer l'utilisation des pesticides chimiques ou au moins agir sur les cultures les moins performantes, donc les plus dangereuses pour l'environnement et/ou la santé de l'applicateur. Ils peuvent donc substituer les produits phytosanitaires utilisés pour traiter ces cultures par d'autres moins toxiques. Là aussi, le recours à la géolocalisation permet de faciliter l'intervention. En effet, les cartes de classification des IRTE et IRSA pondérés/ha des parcelles culturales (Annexes 20.5 et 20.6) nous permettent d'identifier les parcelles présentant le

risque de toxicité le plus élevé pour l'environnement et/ou la santé de l'applicateur, c'est-à-dire les parcelles dont les valeurs IRTE/ha et/ou IRSA/ha sont les plus importantes. L'identification de ces parcelles, donc des cultures correspondantes, permet d'identifier les produits phytosanitaires utilisés.

Le soufre et le cuivre peuvent être utilisés comme des produits alternatifs à l'usage des pesticides pour traiter les cultures en agriculture biologique. Or, dans un processus de transition agroécologique, leur utilisation est de moins en moins conseillée. En effet, la substitution des pesticides chimiques par le cuivre et/ou le soufre permet à la fois de lutter contre les ennemis des cultures et de réduire les risques de pollution des eaux et des sols. En revanche, l'apport de ces deux produits peut devenir à son tour nocif pour les eaux et les sols à partir d'une certaine quantité, soient 5kg/ha/an pour le soufre et 3kg/ha/an pour le cuivre. Les agriculteurs conventionnels peuvent alors avoir recours au soufre et/ou au cuivre mais sans dépasser les quantités maximales autorisées en agriculture biologique, soient 10kg/ha/an pour le soufre et 6 kg/ha/an pour le cuivre.

Un apport azoté a une double facette: sa carence peut affamer la fertilité du sol, réduire l'efficience de la fertilisation azotée et affecter la sécurité nutritionnelle des produits alors que son excès peut entrainer la pollution des eaux et des sols suite au transfert des nitrates et freiner la lutte contre les ravageurs et les adventices. Autrement dit, une quantité non suffisante d'azote (absence d'un excédent azoté) est bénéfique pour la pollution des eaux et des sols ainsi que pour le contrôle des ravageurs et des adventices, en revanche elle ne l'est pas pour la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée et la sécurité nutritionnelle des produits. Afin d'améliorer les performances par rapport à ces indicateurs, le bilan azoté au niveau de chaque culture doit donc être équilibré (les quantités apportées doivent être égales aux besoins de la culture) ou positif mais en présence d'un faible excédent azoté qui ne doit pas dépasser 20kg/ha/an.

Un apport phosphaté a également une double facette: sa carence peut affamer la fertilité du sol, affecter la sécurité nutritionnelle des produits et freiner le contrôle des ravageurs et des adventices alors que son excès peut entrainer la pollution des eaux et des sols suite au transfert des phosphates. Autrement dit, une quantité non suffisante de phosphore (absence d'un excédent phosphaté) est bénéfique pour la pollution des eaux et des sols mais elle ne l'est pas pour la fertilité du sol, la sécurité nutritionnelle des produits ainsi que pour le contrôle des ravageurs et des adventices. Afin d'améliorer les performances par rapport à ces indicateurs, le bilan phosphaté au niveau de chaque culture doit donc être équilibré ou positif mais en présence d'un faible excédent phosphaté qui ne doit pas dépasser 15kg/ha/an.

Un apport suffisant de potassium permet d'améliorer la fertilité du sol et la sécurité nutritionnelle des produits, et de limiter davantage les attaques des ravageurs et des adventices. Afin d'augmenter les performances par rapport à ces indicateurs et d'éviter toute sorte de gaspillage, le bilan potassique au niveau de chaque culture doit donc être équilibré ou positif mais en présence d'un faible excédent potassique qui ne doit pas dépasser 15kg/ha/an.

► Scénarios d'amélioration des performances agro-environnementales et sociales globales des exploitations agricoles de la catégorie "cultures annuelles sans cultures légumières"

Les résultats obtenus montrent que les quatre exploitations de la catégorie *"cultures annuelles sans cultures légumières"* ne sont pas très performantes aux échelles agro-environnementale et sociale. En effet, leurs performances globales, y compris les plus élevées, restent la plupart du temps faibles. Des changements possibles menés au niveau des pratiques agricoles et des itinéraires techniques peuvent améliorer les performances de ces exploitations. Ces changements peuvent concerner le niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle.

Au niveau *Exploitation*, plusieurs propositions possibles permettent d'augmenter les performances agro-environnementales et sociales des quatre exploitations. Le recours au stockage et au traitement des eaux usées (eaux de lavage du matériel, des bâtiments…), et au recyclage des déchets non organiques en mettant en place des petites stations d'épuration, de traitement et/ou de recyclage collectives ou particulières permet de diminuer le risque de pollution des eaux et des sols suite aux transferts des polluants de toute nature. L'introduction des légumineuses et/ou des CIPAN dans la rotation sur des superficies allant jusqu'à 15% de la SAU peut diminuer le risque de pollution des eaux, des sols et de l'air, réduire l'érosion et le ruissellement, améliorer la fertilité du sol, la fertilisation azotée ainsi que la biodiversité et contrôler davantage les adventices. La contamination des eaux et des sols par les nitrates, le risque de l'érosion et/ou de ruissellement, et l'attaque des ravageurs peuvent être atténués en utilisant des plantes de coupure dans les rotations. Ces plantes peuvent également améliorer la fertilité du sol et la biodiversité. Les quatre exploitants sont appelés à associer plusieurs cultures, surtout en présence des légumineuses, dans la même parcelle culturale afin d'offrir une meilleure fertilité du sol, de développer davantage la biodiversité et de limiter les attaques des ravageurs et des adventices. Ils peuvent aussi couvrir leurs sols entre les lignes des cultures et/ou entre les cultures (après récolte) car ceci peut avoir des effets positifs sur la pollution des eaux et des sols (suite aux transferts des polluants chimiques, des métaux lourds et des nitrates), l'érosion, le ruissellement, la fertilité du sol, la préservation de la ressource eau, la biodiversité, le contrôle des adventices et des ravageurs, et l'intensité et pénibilité du travail.

La présence des infrastructures agroécologiques réduit les transferts des pesticides, des nitrates et des métaux lourds, freine l'érosion et le ruissellement, restaure la fertilité du sol, améliore la biodiversité et lutte contre les ravageurs. Pour cela, la diversification de ces infrastructures et l'augmentation de leur superficie, surtout au niveau des exploitations 3 et 7 où elle ne dépasse pas 4% de la SAU, sont très importantes. Leur mise en place doit être choisie en fonction de deux facteurs clés, soient la pression phytosanitaire et la localisation des parcelles culturales par rapport aux cours d'eau. Ces infrastructures doivent être présentes là où la pression phytosanitaire est la plus faible et au bord des parcelles traversées ou bordées par des cours d'eau. Le recours à la lutte biologique et/ou aux produits de bio-contrôle sur la plupart ou la totalité des parcelles culturales ainsi qu'à l'intégration des plantes mellifères au bord et/ou au milieu des champs agricoles participe à l'amélioration de la biodiversité et au contrôle des ravageurs. Allonger les durées des rotations culturales, cultiver successivement des cultures nettoyantes avec d'autres cultures salissantes et intégrer des prairies temporaires de courte ou longue durée dans les rotations sur des superficies allant jusqu'à 20% de la SAU, sont toutes des actions qui peuvent réaliser des performances plus importantes au niveau de la rotation des cultures, donc par rapport à la pollution, l'érosion-ruissellement, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, la biodiversité et le contrôle des ennemis des cultures. L'absence d'un travail du sol ou la présence d'un travail superficiel réduit du sol améliore les performances par rapport à la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la fertilité du sol, la préservation de l'énergie et l'intensité et pénibilité

du travail. Par conséquent, les quatre exploitants peuvent supprimer le travail superficiel de leurs parcelles ou diminuer la superficie des parcelles travaillées superficiellement, de façon à ne pas dépasser 30% de la SAU.

La diminution de la superficie de la culture la plus significative dans les assolements de façon à ne pas dépasser 20% de la SAU dans le cas optimal, surtout pour les exploitations 3, 6 et 7 dont la superficie de la culture la plus significative est supérieure à 39% de la SAU, permet de gagner de la place pour d'autres cultures, donc de réduire l'érosion et le ruissellement, d'améliorer la fertilité du sol et la biodiversité, et de rendre plus efficaces la fertilisation azotée ainsi que la lutte contre les ennemis des cultures. Les quatre exploitants peuvent produire du compost organique à base des résidus végétaux sur leurs exploitations afin de l'utiliser à la place des fertilisants minéraux pour réduire les transferts des métaux lourds et des nitrates, améliorer la structure du sol et rétablir sa fertilité, garantir la sécurité nutritionnelle des produits et lutter contre les ravageurs et les adventices des cultures. Pour limiter l'érosion et le ruissellement, offrir une meilleure fertilité du sol, développer la biodiversité et mieux contrôler les ravageurs et les adventices, les quatre exploitants sont invités à diversifier davantage les espèces et les variétés végétales cultivées en augmentent leur nombre, et à introduire des prairies permanentes et/ou temporaires de plus de cinq ans sur des superficies allant jusqu'à 25% de la SAU.

La présence de plusieurs espèces végétales anciennes et/ou des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition participe au développement de la biodiversité et à la conservation des ressources génétiques végétales locales du territoire. L'utilisation des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures réduit les dégâts causés par les attaques des ennemis, adventices et ravageurs, et garantit une meilleure sécurité nutritionnelle des produits agricoles. Les quatre exploitants ont donc intérêt à tenir compte de ces éléments afin d'améliorer leurs performances. Pratiquer le faux-semis sur la plupart des parcelles culturales, même dépasser 85% de la SAU, et adapter la date de semis (c'est-à-dire l'avancer ou la retarder) en fonction des conditions climatiques et de risque des adventices, ainsi que la densité de la végétation en fonction de la date de semis et le type de sol, surtout pour les exploitants 3, 6 et 7, sont des actions qui permettent de mieux lutter contre les ravageurs et les adventices.

Il est important d'effectuer plusieurs analyses de l'azote minéral sur différentes parcelles en début de chaque campagne culturale et de ne pas se limiter à une seule analyse sur une seule parcelle. Les exploitants ont intérêt aussi à fractionner les apports d'azote en fonction des besoins de leurs cultures. L'analyse de l'azote minéral sur plusieurs parcelles et le fractionnement de ses apports rendent la fertilisation azotée plus efficiente. Ces exploitants peuvent éviter le gaspillage et préserver la ressource en eau en mettant en place des dispositifs pour récupérer et stocker les eaux de pluie, en utilisant un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation et en cultivant que des variétés végétales plus adaptées à la sécheresse surtout pour les exploitants 1, 6 et 7. Ils peuvent penser aussi à produire de l'énergie renouvelable sur leurs exploitations (mettre en place des éoliennes et/ou des panneaux solaires, produire des cultures énergétiques et de biomasse, etc.) et à utiliser des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation et préserver l'énergie. Afin d'atténuer l'intensité et la pénibilité du travail, chaque exploitant doit diminuer son rythme de travail difficile en prenant des jours de repos et des vacances dès que c'est possible. L'implication de chaque exploitant dans la société peut être renforcée par la transformation

des produits agricoles sur l'exploitation, la vente directe, l'ouverture de l'exploitation à la visite et à la formation, la participation dans des organisations et/ou institutions de conseil et de démonstration, et la réduction de la part du chiffre d'affaires provenant du plus gros client qui ne doit pas dépasser 25%.

Nous avons présenté les différentes pistes possibles permettant d'améliorer les performances agro-environnementales et sociales des quatre exploitations. Toutefois, un ou plusieurs scénarios peuvent parfois distinguer une ou plusieurs exploitations des autres. En effet, afin d'améliorer les performances par rapport à la pollution de l'air, l'érosion-ruissellement, la préservation de l'énergie et l'intensité et pénibilité du travail sans pénaliser la fertilité du sol et le contrôle des adventices, les exploitants 3 et 7 peuvent introduire le désherbage mécanique en choisissant bien la superficie qui va être désherbée alors que les deux exploitants 1 et 6 sont appelés à diminuer la superficie désherbée mécaniquement. Comme l'exploitant 7, les exploitants 1, 3 et 6 peuvent remplacer l'utilisation des fertilisants minéraux par d'autres organiques sur quelques parcelles culturales, voire même sur plus de 75% de leur SAU, afin de réduire les transferts des métaux lourds et des nitrates, d'améliorer la structure du sol et par conséquent d'éviter l'érosion et le ruissellement, de rétablir la fertilité du sol, de garantir la sécurité nutritionnelle des produits et de lutter contre les ennemis des cultures.

Contrairement aux exploitants 1, 3 et 6, l'exploitant 7 est appelé à diminuer les superficies de ses parcelles, ce qui lui permettrait de contrôler davantage l'érosion et le ruissellement, de développer la biodiversité et de diminuer l'intensité et la pénibilité du travail. Les exploitants 6 et 7 ont intérêt à diminuer la consommation d'eau et d'énergie sur leurs exploitations. Pour cela, ils peuvent utiliser un système d'irrigation plus économique en eau et en énergie comme l'irrigation localisée (goutte-à-goutte) pour toutes les cultures irriguées, voire même arrêter d'irriguer comme les exploitants 1 et 3. L'exploitant 1 utilise des plantes pièges pour lutter contre les ravageurs des cultures, les exploitants 3, 6 et 7 peuvent aussi utiliser des techniques alternatives à l'usage des insecticides (la prophylaxie, les plantes pièges, etc.). Les exploitants 1 et 3 peuvent diversifier leurs débouchés et leurs réseaux commerciaux de vente comme les exploitants 6 et 7 qui ne vendent pas tous leurs produits à la coopérative Qualisol. Les deux exploitants 3 et 6 peuvent adhérer volontairement à des structures associatives et les trois exploitants 1, 3 et 7 ont la possibilité d'embaucher de la main d'ouvre non familiale. La diversification des débouchés de vente, être membre d'une ou de plusieurs structures associatives et l'embauche de la main d'œuvre non familiale permettent tous de renforcer l'insertion des exploitants dans la société.

L'exploitant 6 a intérêt à mettre en place des infrastructures antiérosives autres que les bandes enherbées (des banquettes, des haies, des terrasses, etc.) principalement sur les parcelles qui se caractérisent par une forte pente ou même à les couvrir afin d'accroitre sa performance par rapport à l'érosion-ruissellement. En effet, l'exploitation 6 est la seule de cette catégorie qui possède des parcelles à forte pente. Grâce à la géolocalisation à l'aide d'un SIG et à la classification des pentes des parcelles culturales, nous pouvons identifier les parcelles à forte pente de l'exploitation 6 (Figure 67).

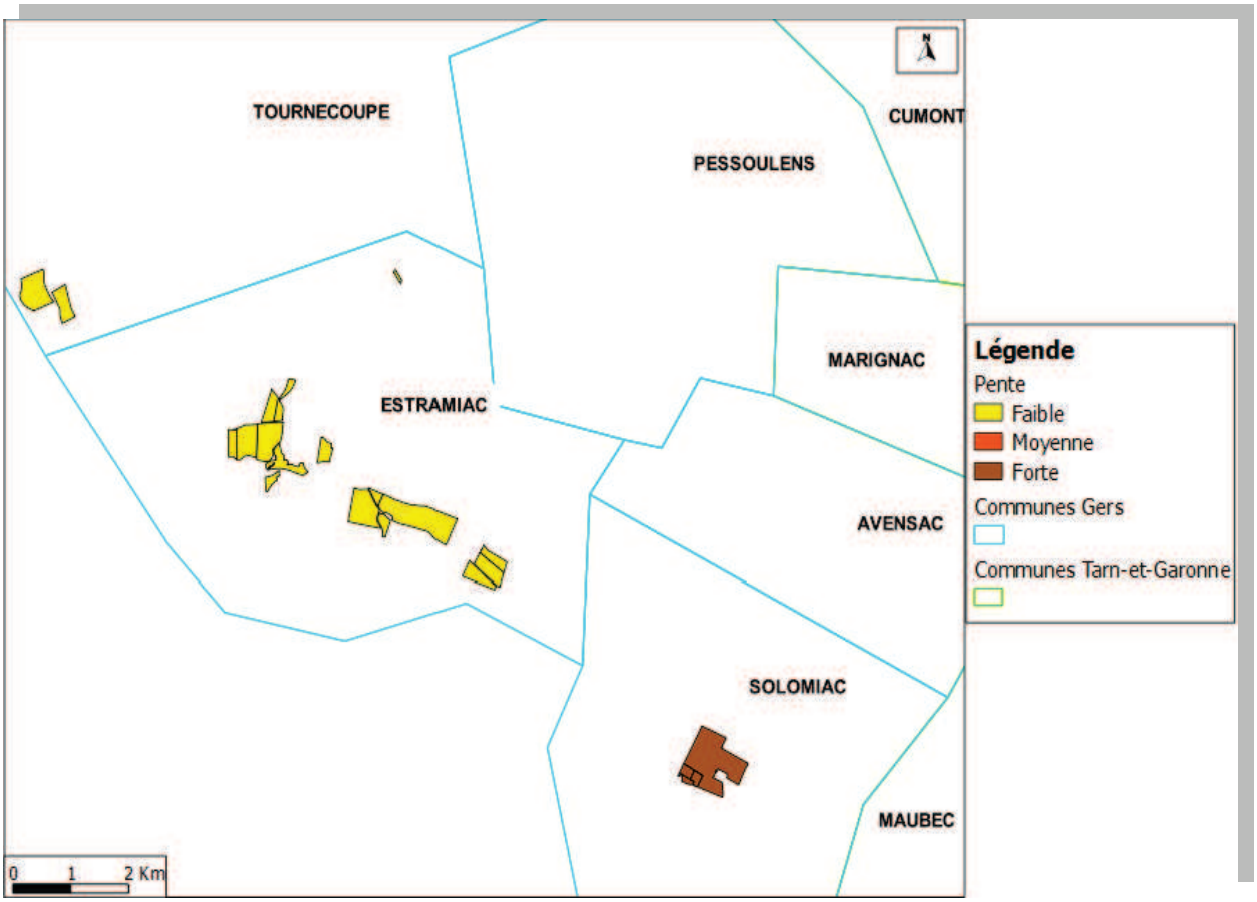


Figure 67. Pente des parcelles culturales de l'exploitation 6 (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

L'amélioration des performances agro-environnementales et sociales des quatre exploitations agricoles au niveau *Parcelle* nécessite de revoir les paramètres concernant le traitement chimique des cultures (produits phytosanitaires utilisés, doses appliquées et fréquences de passage), l'utilisation du cuivre et/ou du soufre ainsi que les fertilisations azotée, phosphatée et potassique.

Afin de diminuer le transfert des polluants chimiques vers les cours d'eau et le sol, d'améliorer la fertilité du sol et la qualité des produits agricoles, et de conserver la biodiversité ainsi que le bien-être animal, chaque exploitant doit supprimer l'utilisation des pesticides chimiques ou diminuer la pression phytosanitaire (c'est-à-dire les doses phytosanitaires appliquées et le nombre de passages). Cette diminution concerne principalement la ou les cultures présentant des IFT/ha supérieurs aux IFT/ha régionaux: le colza semences et le tournesol oléique au niveau de l'exploitation 1, le blé tendre d'hiver, le colza semences et le tournesol oléique au niveau de l'exploitation 6, et le colza semences au niveau de l'exploitation 7. Grâce à la géolocalisation, nous pouvons identifier ces cultures, donc les parcelles à haute pression phytosanitaire (Figure 68).

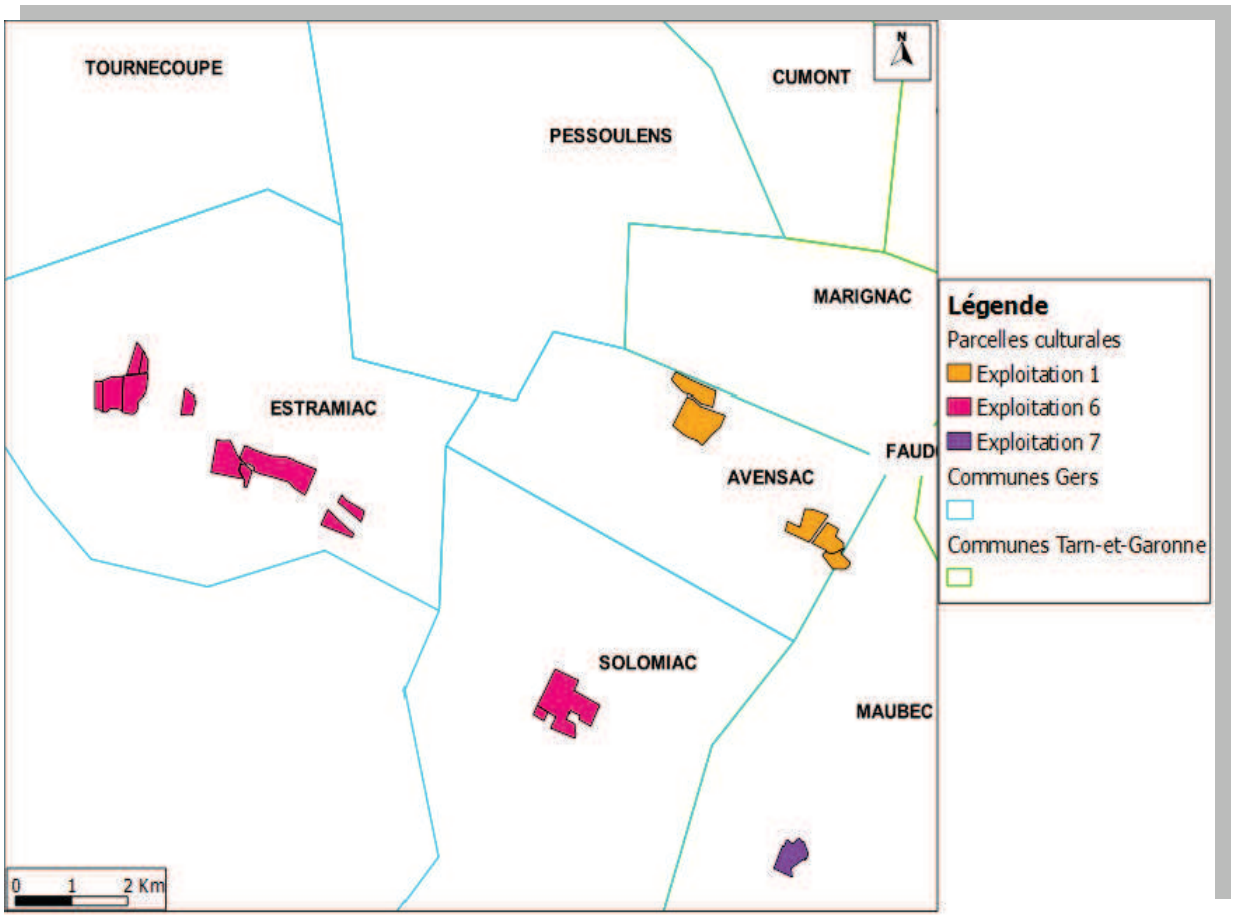


Figure 68. Parcelles culturales des exploitations 1, 6 et 7 à haute pression phytosanitaire (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Dans le but de conserver l'environnement et de préserver la santé de l'applicateur, chaque exploitant doit éviter l'utilisation des pesticides chimiques et/ou biologiques ou substituer au moins les produits phytosanitaires les plus toxiques par d'autres moins dangereux pour l'environnement et/ou la santé de l'applicateur. Les cultures concernées par la substitution des produits phytosanitaires utilisés, afin d'améliorer les performances globales des quatre exploitations au niveau de l'IRTE et l'IRSA, sont: le colza semences au niveau des exploitations 1, 6 et 7, le blé tendre d'hiver au niveau de l'exploitation 3 et le maïs grain au niveau de l'exploitation 7. Si nous prenons le cas du colza semences par exemple, nous constatons que toutes les parcelles, quelque soit l'exploitation agricole, présentent des valeurs IRTE/ha ou IRSA/ha très élevées. Pour l'IRTE, les valeurs sont comprises entre 1906 et 3092: 2179 et 2145 au niveau de l'exploitation 1; 2839 et 3092 au niveau de l'exploitation 6 et 1986 au niveau de l'exploitation 7. Pour augmenter les performances des exploitations 1, 6 et 7 par rapport à l'IRTE, toutes les parcelles du colza semences doivent donc être traitées avec d'autres produits moins toxiques pour l'environnement. Les exploitants peuvent aussi diminuer le nombre de passages de ces produits.

Afin d'améliorer leurs performances par rapport à la pollution des eaux et des sols et le contrôle des ravageurs, les quatre exploitants peuvent substituer les pesticides chimiques par le soufre et/ou le cuivre. Pour ces deux éléments, il ne faut pas apporter des quantités supérieures à 5kg/ha/an et 3kg/ha/an respectivement, surtout pour l'exploitant 7 qui utilise une quantité de soufre supérieure à

10kg/ha/an pour traiter le blé tendre d'hiver et le colza semences. Les performances par rapport à la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, l'efficience de la fertilisation azotée, la sécurité nutritionnelle des produits et le contrôle des ravageurs et des adventices peuvent être améliorées en apportant des quantités suffisantes d'azote sans dépasser un excédent de 20kg/ha/an au colza semences au niveau des exploitations 1, 6 et 7, au tournesol oléique au niveau des quatre exploitations, au maïs grain au niveau des deux exploitations 6 et 7, à l'orge d'hiver au niveau de l'exploitation 1, au triticale au niveau de l'exploitation 3 et au sorgho grain au niveau de l'exploitation 7. En revanche, le blé dur d'hiver au niveau des exploitations 1 et 3, le blé tendre d'hiver au niveau des quatre exploitations et l'orge d'hiver fourrager au niveau de l'exploitation 7 doivent par contre en recevoir des quantités moins importantes.

Dans le but d'augmenter les performances par rapport à la pollution des eaux et des sols, la fertilité du sol, la sécurité nutritionnelle des produits et le contrôle des ravageurs et des adventices, des quantités suffisantes de phosphore doivent être apportées sans dépasser un excédent de 15kg/ha/an au tournesol oléique au niveau des exploitations 1, 3 et 6, au blé tendre d'hiver au niveau de l'exploitation 3, au mais semences au niveau de l'exploitation 6 et à toutes les cultures au niveau de l'exploitation 7. Cependant, le blé tendre d'hiver au niveau des exploitations 1 et 6, le blé dur d'hiver au niveau des exploitations 1 et 3, l'orge d'hiver au niveau de l'exploitation 1, le colza semences au niveau des exploitations 1 et 6 et le triticale au niveau de l'exploitation 3 doivent en recevoir par contre des quantités moins importantes. A l'exception du sorgho grain au niveau de l'exploitation 7 qui doit en recevoir une quantité moins importante, toutes les cultures au niveau des quatre exploitations doivent recevoir des quantités suffisantes de potassium sans dépasser un excédent de 15kg/ha/an afin d'améliorer la fertilité du sol, la sécurité nutritionnelle des produits et le contrôle des ravageurs et des adventices.

9.3. Analyse des résultats à l'échelle économique

Les résultats économiques (Tableaux 21, page 168 et 22, page 169) montrent que "l'intensité" de la performance peut changer d'un indicateur à l'autre au niveau de la même exploitation agricole. Autrement dit, la même exploitation peut ne pas être performante par rapport à tous les indicateurs. L'analyse des résultats de performance obtenus en fonction des indicateurs économiques et les différentes options possibles pour améliorer la performance économique d'une exploitation agricole donnée sont présentées ci-dessous.

Les exploitations conventionnelles ne sont pas aussi efficaces économiquement contrairement aux exploitations biologiques. En effet, les performances des exploitations conventionnelles à l'égard de *l'efficacité économique* sont très faibles, faibles ou moyennes contrairement aux deux exploitations biologiques dont la performance obtenue est bonne (exploitation 10) ou très bonne (exploitation 11). L'efficacité économique dépend de la part de la valeur ajoutée dans le produit final: plus cette part est grande, plus l'efficacité économique est importante. Bien que les exploitations 7 et 8 possèdent des valeurs ajoutées plus élevées que celles des exploitations 10 et 11, l'efficacité économique au niveau de ces deux premières exploitations n'est pas la plus importante car les parts de leurs valeurs ajoutées ne sont pas très significatives par rapport aux produits de leur activité, elles ne représentent que 28% et 24% respectivement. Les parts de la valeur ajoutée dans le produit final au niveau des exploitations 10 et 11 sont respectivement de 40% et 56%, ce qui leur permet d'être en premier rang et d'obtenir les

meilleurs pourcentages de performance par rapport à l'efficacité économique, soient 71% et 86% respectivement. Le pourcentage de performance par rapport à l'efficacité économique au niveau des exploitations 2 et 9 est le plus faible, soit 14% de la performance maximale car les parts de la valeur ajoutée dans le produit final de ces deux exploitations sont les plus petites.

Les onze exploitations ne sont pas aussi performantes par rapport à *la productivité du capital*. En effet, leurs performances sont très faibles, faibles ou moyennes. L'utilisation des capitaux au niveau de ces exploitations n'est pas très efficace. Ces exploitations n'arrivent pas à produire davantage de biens agricoles en utilisant moins de capital mobilisé dans la production. La productivité du capital dépend de la valeur ajoutée: en présence d'un capital fixe donné, plus la valeur ajoutée est grande, plus la productivité du capital est importante. Les variations de cette productivité indiquent à quel point il est possible d'augmenter l'efficacité de l'utilisation du capital, donc d'accroître la production en réduisant les coûts.

Par rapport à *la sensibilité aux aides*, la plupart des exploitations ne sont pas performantes. En effet, les performances des exploitations 4, 7, 8 et 10 sont bonnes alors que celles des autres exploitations sont très faibles, faibles ou moyennes. Contrairement aux exploitants 4, 7, 8 et 10, les autres sont dépendants des aides liées aux systèmes de production, par conséquent ils ne sont pas très autonomes économiquement. La sensibilité aux aides des différentes exploitations est appréciée en situant la part de leur EBE provenant d'aides directes (subventions et autres aides publiques). Dès lors, plus cette part est grande, plus l'exploitation est considérée comme très sensible aux aides et à leurs fluctuations. L'autonomie économique est la capacité à dégager un revenu disponible suffisant afin de rémunérer le travail et d'assurer l'autofinancement de l'exploitation. Pour être plus autonome économiquement, l'exploitant doit réduire ses aides et améliorer sa marge nette à l'unité produite. Il doit donc accroitre sa valeur ajoutée en diminuant ses charges ou en valorisant mieux ses produits.

Par rapport à *l'autonomie financière*, les performances des exploitations 1, 2, 3, 4, 8 et 11 sont bonnes ou très bonnes alors que celles des autres exploitations sont très faibles, faibles ou moyennes. A l'exception de ces six premières exploitations, les autres exploitations ne sont donc pas très autonomes financièrement. Leurs rapports entre les capitaux propres et le total passif ne sont pas très importants. Autrement dit, leurs dettes à court et à long terme sont plus importantes que leurs capitaux propres. En effet, l'importance des capitaux propres constitue une garantie financière au niveau de l'exploitation agricole en assurant une certaine indépendance ou autonomie financière vis-à-vis des créanciers. Afin d'accroitre son autonomie financière, l'exploitant a donc intérêt à diminuer ses emprunts ou ses dettes auprès des établissements de crédit et des fournisseurs, et à augmenter ses capitaux propres en augmentant les réserves dans la répartition du résultat.

Les deux exploitations 2 et 9 sont considérées comme les moins efficientes productivement. En effet, leurs performances à l'égard de *l'efficience du processus productif* sont moyennes alors que celles des autres exploitations sont bonnes ou très bonnes. Les exploitants 2 et 9 n'arrivent pas à valoriser leurs intrants et à produire de façon efficace avec les ressources limitées dont ils disposent. L'efficience productive exprime indirectement l'autonomie économique et matérielle de l'exploitant. Dans le but d'améliorer l'efficience de son processus productif, l'exploitant est donc appelé à améliorer son autonomie par rapport aux intrants extérieurs utilisés en diminuant leur volume et à mieux valoriser ses produits.

Les deux exploitants 2 et 9 sont considérés comme les plus dépendants vis-à-vis les achats d'intrants où une grande part de leurs chiffres d'affaires sert à acheter leurs intrants. En effet, leurs performances par rapport à *la dépendance vis-à-vis les achats d'intrant* sont moyennes alors que celles des autres exploitants sont bonnes ou très bonnes. Afin de diminuer cette dépendance, l'exploitant doit donc devenir plus autonome et limiter le recours à des produits achetés sur les marchés en privilégiant la valorisation de ses propres ressources.

L'efficience économique des risques pesticides comprend deux sous-indicateurs: *i)* l'efficience-santé applicateur qui met en évidence la relation risque de l'utilisation des pesticides chimiques sur la santé de l'applicateur et revenu obtenu estimé par la marge brute, et *ii)* l'efficience-toxicité environnement qui met en évidence la relation risque de l'utilisation des pesticides chimiques sur l'environnement et revenu obtenu estimé par la marge brute. Autrement dit, à partir des caractéristiques des pesticides chimiques utilisés en terme de toxicité et de la valeur de la marge brute à l'hectare, nous pouvons savoir si une exploitation agricole donnée est efficace et/ou efficiente ou pas. On a généralement tendance à penser qu'une utilisation des produits phytosanitaires, même s'ils sont les plus toxiques, garantit toujours un revenu élevé, donc une efficacité économique importante ce qui n'apparaît pas toujours vérifié. En effet, parfois, un exploitant risque sa santé et celle de son entourage, et pollue l'environnement en utilisant des pesticides très toxiques alors que sa marge brute à l'hectare ne s'améliore pas ou reste faible par rapport à un autre exploitant qui utilise des pesticides moins nocifs. La perte de ce premier exploitant est alors double sur les plans efficacité et efficience: il dépense plus pour les achats des pesticides alors qu'il ne gagne pas plus de revenus, il n'est donc pas efficace ni efficient. Une activité agricole peut être à la fois efficace et efficiente sans tomber dans le déficit si l'exploitant préfère diminuer les risques causés par les pesticides chimiques utilisés, préserver sa santé, celle du consommateur et de son entourage, et conserver l'environnement.

Par rapport à *l'efficience-santé applicateur*, la plupart des exploitations ne sont pas performantes. En effet, les performances des exploitations 4, 9, 10 et 11 sont bonnes ou très bonnes alors que celles des autres exploitations sont faibles ou moyennes. Les exploitations 2, 4, 8, 9, 10 et 11 sont les plus performantes par rapport à *l'efficience-toxicité environnement* car leurs performances sont bonnes ou très bonnes contrairement au reste des exploitations dont les performances sont faibles ou moyennes. Les exploitations 10 et 11 ne sont pas les plus efficaces économiquement car leurs marges brutes à l'hectare ne sont pas les plus élevées (1494 et 1093 euros respectivement), mais en revanche, elles sont les plus efficientes du point de vue toxicité sur la santé de l'applicateur et l'environnement (100% de performance). En effet, les valeurs de leurs IRSA et IRTE pondérés/ha sont égales à zéro puisque il s'agit des exploitations biologiques. L'exploitant 4 est le plus efficace économiquement car sa marge brute à l'hectare est la plus élevée (2306 euros). Or, cet exploitant n'est pas le plus efficient du point de vue toxicité sur la santé de l'applicateur (73% de la performance maximale) et sur l'environnement (82% de la performance maximale) car il ne possède pas les valeurs IRSA et IRTE pondérés/ha les plus faibles. En effet, il est plus efficace sur le plan économique que l'exploitant 9 car sa marge brute à l'hectare est plus importante que celle de ce dernier (1987 euros) mais, par contre, c'est l'exploitant 9 qui est le plus efficient du point de vue toxicité sur la santé de l'applicateur (82% de la performance maximale) et l'environnement (91% de la performance maximale) car ses IRSA et IRTE pondérés/ha sont plus faibles (1174 contre 1534 et 667 contre 863 respectivement). Les exploitants 1 et 6 ne sont pas efficients ni efficaces puisqu'ils utilisent des pesticides plus toxiques pour la santé de l'applicateur

et l'environnement dont les IRSA et IRTE pondérés/ha sont élevés en présence des revenus plus faibles à l'hectare (973 et 1603 euros respectivement) que ceux des exploitants 4 et 9.

L'analyse des différents résultats obtenus à l'échelle économique nous a permis de distinguer des groupes d'exploitations plus homogènes du point de vue performance. En effet, la permutation des colonnes (les exploitations) et des lignes (les indicateurs) du tableau 22 (page 169) nous a permis de rapprocher les exploitations qui se ressemblent et d'avoir trois groupes d'exploitations (Tableau 30).

Tableau 30. Regroupement des exploitations agricoles selon la performance économique (Trabelsi, 2016)

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 5	Exp 9	Exp 6	Exp 7	Exp 4	Exp 8	Exp 10	Exp 11
I1. Productivité du capital	17	17	33	17	17	33	50	33	33	50	50
I2. Efficacité économique	29	14	29	29	14	43	43	43	43	71	86
I3. Sensibilité aux aides	9	NR	36	27	9	55	64	64	73	73	18
I4. Autonomie financière	100	100	83	17	33	33	50	67	67	50	67
I5. Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	75	50	75	75	50	75	75	75	75	75	100
I6. Efficience du processus productif	70	40	80	60	40	80	70	70	60	80	80
I7. Efficience-santé applicateur	27	45	36	45	82	27	45	73	46	100	100
I8. Efficience-toxicité environnement	27	64	45	55	91	36	55	82	64	100	100

Très faible
Faible
Moyenne
Bonne
Très bonne

Le premier groupe est constitué des exploitations 1, 2, 3, 5 et 9. Ces cinq exploitations se caractérisent par une faiblesse de leur performance par rapport aux trois premiers indicateurs I1, I2 et I3. La part de la valeur ajoutée dans le produit final de chacune de ces exploitations n'est pas très grande (ne dépasse pas 18%), ce qui explique leur faible performance par rapport à l'efficacité économique et la productivité du capital. Le fait d'être très dépendantes aux aides directes explique la forte sensibilité de ces exploitations aux aides, et donc leur faible performance par rapport à la sensibilité aux aides. Cependant, ces exploitations se partagent aussi en trois sous-groupes pour le reste des indicateurs. Contrairement aux exploitations 1, 2 et 3, l'importance de leurs dettes à court et à long terme par rapport à leurs capitaux propres ne permet pas aux exploitations 5 et 9 d'être performantes au niveau de l'autonomie financière. Les exploitants 2 et 9 sont les plus dépendants des achats d'intrants sur les marchés. De plus, ils n'arrivent pas à utiliser efficacement les ressources dont ils disposent pour la production. Cette consommation excessive et non efficace des intrants leur permet donc d'avoir des performances moyennes par rapport aux deux indicateurs I5 et I6. Malgré la présence d'une marge brute relativement peu importante, l'exploitant 9 est le plus performant par rapport aux indicateurs I7 et I8 grâce à l'utilisation des produits phytosanitaires peu toxiques pour l'environnement et la santé.

Les deux exploitations 10 et 11 forment le deuxième groupe. Elles se distinguent par une très bonne performance par rapport aux trois derniers indicateurs I6, I7 et I8. Le mode de production biologique de ces exploitations leur permet d'être les plus efficientes en ce qui concerne l'utilisation des intrants. En effet, l'absence de l'utilisation des produits phytosanitaires a permis de réduire les coûts relatifs à la production, et par conséquent d'augmenter la marge brute. C'est donc l'absence d'utilisation des produits phytosanitaires qui est à l'origine de cette bonne performance à l'égard des trois derniers indicateurs simultanément.

Les exploitations 6, 7, 4 et 8 forment un groupe "médian" entre les deux premiers. La plupart de leurs performances sont moyennes ou bonnes mais en présence de quelques oppositions marquées entre l'exploitation 6 et les autres exploitations. Contrairement aux autres, l'exploitation 6 est la seule à avoir quatre performances classées faibles par rapport à l'ensemble des indicateurs. L'importance des dettes à court et à long terme par rapport aux capitaux propres, et l'utilisation des produits phytosanitaires très dangereux pour l'environnement et la santé de l'applicateur en présence d'un revenu faible à l'hectare, expliquent la faible performance de cette exploitation au niveau des indicateurs I1, I4, I7 et I8.

9.4. Amélioration de la performance économique

A l'échelle économique, la majorité des performances obtenues sont moyennes ou bonnes. La performance maximale a été atteinte sept fois: l'autonomie financière au niveau des exploitations 1 et 2, l'efficience-santé applicateur et l'efficience-toxicité environnement au niveau de l'exploitation 10, la dépendance vis-à-vis les achats d'intrants, l'efficience-santé applicateur et l'efficience-toxicité environnement au niveau de l'exploitation 11. Une amélioration de performance par rapport à tous les indicateurs économiques est alors préférable au niveau de toutes les exploitations afin d'accroitre davantage les performances (surtout celles qui sont très faibles, faibles et moyennes) et d'atteindre les performances maximales. Par conséquent, il faut penser à diminuer la part de l'EBE provenant des aides, le taux des intrants et les dettes à court et à long terme, à augmenter la part de la valeur ajoutée dans le produit final et dans le capital mobilisé, et à réduire, voire même à supprimer, l'utilisation des produits phytosanitaires surtout les plus toxiques. La réalisation de ces actions parait compliquée alors qu'elle dépend d'un seul facteur: la valeur ajoutée. En effet, pour perfectionner leurs performances économiques, entre autre financières, les exploitants conventionnels et biologiques doivent agir sur leurs valeurs ajoutées en combinant une augmentation des produits et services de l'exploitation avec une maîtrise des charges ou coûts de production. Chaque exploitant peut alors faire le choix: *i)* de produire plus, *ii)* d'améliorer la chaine de production et de réaliser des produits plus élaborés*, iii)* de produire mieux, et *iv)* de développer ses activités agricoles avec des services complémentaires rendus au territoire.

- ***Première option : produire plus***

C'est-à-dire augmenter la valeur du produit global par la quantité ou le prix unitaire de vente en développant de plus en plus les moyens de production. Par conséquent, chaque exploitant peut dégager éventuellement davantage de richesses avec plus de terre et/ou plus de cultures et/ou plus de matériels et/ou plus de cheptel et/ou plus de capitaux.

- ***Deuxième option : améliorer la chaine de production et réaliser des produits plus élaborés***

L'augmentation de main d'œuvre qu'elle soit familiale ou non familiale permet d'améliorer la chaine de production, d'offrir des produits agricoles plus élaborés et donc de générer une valeur ajoutée à l'hectare supérieure. Pour cela, les exploitants sont appelés à embaucher de la main d'œuvre et/ou à faire appel à des membres de leurs familles. Or, l'embauche de la main d'œuvre non familiale génère des coûts supplémentaires pour l'exploitant. Il est donc important de tenir compte de ces coûts lors de l'adoption de cette deuxième option.

- ***Troisième option : produire mieux***

Cela revient à optimiser son processus de production dans le but d'améliorer sa performance technico-économique en combinant la productivité et la maitrise des charges. Il s'agit de diminuer les coûts de production qui représentent les charges réelles de l'exploitation (charges opérationnelles et charges structurelles). Les charges opérationnelles se composent principalement d'engrais et amendements, de semences et plants, de produits de défense des végétaux (produits phytosanitaires, soufre et cuivre) ainsi que d'autres éléments (eau, carburants, électricité, aliments du bétail et produits vétérinaires). L'entretien des bâtiments, les assurances, les honoraires, les impôts, les taxes, les amortissements, les salaires, etc. représentent les charges fixes ou structurelles. Dans une exploitation agricole, il est plus facile d'agir sur les charges opérationnelles que sur les charges fixes car les premières sont le plus souvent variables avec le niveau d'activité de l'exploitation sans que cette variation soit nécessairement proportionnelle. Par conséquent, les exploitants sont invités à réduire principalement les charges liées aux achats de semences, de plants, de produits phytosanitaires, d'engrais, de carburants, d'aliments du bétail et de produits vétérinaires afin d'améliorer leurs valeurs ajoutées. Comme ils peuvent aussi agir sur certaines autres charges comme l'utilisation d'eau et d'électricité. L'exploitant peut réduire toutes les charges simultanément ou agir sur les plus élevées seulement.

Plusieurs alternatives permettent à l'exploitant de réduire ses charges, de garder sa productivité et de devenir plus autonome et plus respectueux de l'environnement et de la santé humaine. En produisant ses propres semences, l'exploitant peut réduire les coûts relatifs à l'achat de semences. En réduisant ou en supprimant le traitement chimique (ou biologique) des cultures par la mise en valeur des processus biologiques (mise en place des infrastructures agroécologiques, amélioration de la biodiversité, recours à la lutte biologique, etc.) et/ou par le recours à des techniques alternantives (barrières physiques, désherbage mécanique, faux semis, etc.), l'exploitant peut diminuer les coûts relatifs à l'achat de produits phytosanitaires. Les charges liées aux achats d'engrais et d'amendements peuvent être allégées en apportant des quantités équilibrées de fertilisants minéraux afin d'éviter le gaspillage, en intégrant des légumineuses dans la rotation des cultures et en produisant ses propres fertilisants organiques. La préservation de la santé des animaux d'une manière préventive en leur offrant des pâturages protégés, en garantissant le confort de leurs bâtiments, en leur fournissant une alimentation riche et saine et en supprimant l'achat des aliments supplémentés en antibiotique, permet d'atténuer les charges des produits vétérinaires. La suppression ou la réduction du désherbage mécanique et/ou du travail du sol peut minimiser les coûts élevés du carburant. En produisant son propre fourrage et/ou concentré, l'exploitant peut diminuer les charges relatives aux aliments du bétail. La suppression de l'irrigation ou l'utilisation d'un dispositif d'irrigation économique (goutte-à-goutte), la couverture permanente du sol, la mise en place des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie, le

recours à des variétés plus adaptées à la sécheresse et la mise en place d'un système agroforestier si c'est possible sont toutes des actions permettant de réduire les charges d'eau et/ou d'électricité.

Dans le contexte de cette troisième option, nous avons pris l'exploitation 1 comme exemple afin de proposer les pistes possibles pour l'amélioration de sa performance à l'échelle économique. Le choix de cette exploitation n'est basé sur aucun critère de sélection. Pour cette exploitation agricole, ce sont les engrais qui représentent le pourcentage le plus élevé de charges opérationnelles, soit 41%. Les produits phytosanitaires occupent la deuxième place avec 26%. Les coûts relatifs aux semences et aux autres charges (eau, carburants, électricité…) représentent respectivement 18% et 15% de la somme des charges opérationnelles (Figure 69).

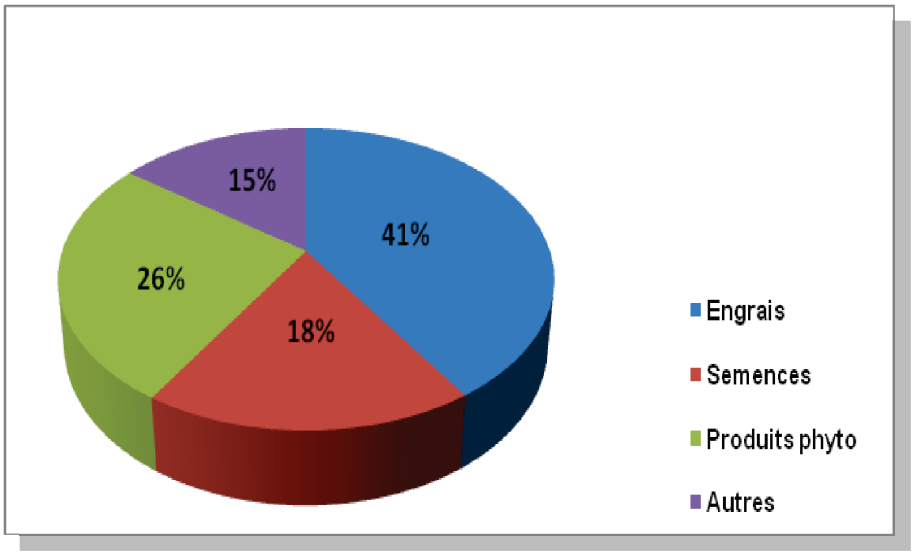


Figure 69. Répartition des charges opérationnelles de l'exploitation 1 (Enquêtes de terrain 2015)

L'exploitant 1 doit donc réduire principalement les coûts des engrais et des produits phytosanitaires. Il a intérêt à diminuer l'utilisation des pesticides chimiques ou à la supprimer. Pour cela, il peut associer plusieurs cultures, surtout en présence des légumineuses, dans la même parcelle culturale, diversifier les infrastructures agroécologiques et augmenter leur superficie, diversifier davantage les espèces et les variétés végétales cultivées, utiliser des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures, pratiquer le faux-semis et adapter la date de semis et la densité de la végétation. Au niveau de cette exploitation, les engrais organiques ne sont pas utilisés, les coûts des engrais correspondent donc aux engrais minéraux seulement. Pour réduire alors ces coûts, l'intégration des légumineuses dans la rotation, la production de ses propres engrais organiques et le fait d'éviter les achats excessifs des fertilisants minéraux ainsi que leur gaspillage en ne fournissant que les quantités nécessaires aux cultures seront de bonnes solutions. En effet, certaines cultures, au niveau de cette exploitation, reçoivent des quantités d'azote et/ou de phosphore supérieures à leurs besoins (blé dur d'hiver, blé tendre d'hiver, colza semences et orge d'hiver fourrager). Dans le but d'améliorer davantage sa valeur ajoutée, cet exploitant peut penser aussi à réduire les coûts liés aux semences en produisant ses propres semences ou à d'autres charges comme celles d'eau et surtout du carburant. Il peut avoir recours à la couverture du sol, aux variétés plus adaptées à la sécheresse et aux dispositifs de récupération et de

stockage des eaux de pluie afin de diminuer sa consommation en eau. Pour réduire la consommation du carburant, il peut supprimer le travail du sol ou diminuer les superficies des parcelles travaillées et désherbées mécaniquement.

- ***Quatrième option : développer ses activités agricoles avec des services complémentaires rendus au territoire***

Une meilleure valorisation d'un produit donné sur le territoire se traduit par la création d'une valeur ajoutée. Le territoire est une source de compétitivité importante pour l'exploitation agricole. Il peut profiter des atouts de l'activité agricole, donc de la chaine de création de valeur en optimisant la gestion commerciale, la vente sur les différents marchés et la communication entre les différents acteurs du territoire (agriculteurs, consommateurs, vendeurs, etc.). Pour cela, l'insertion de l'exploitant et de ses activités agricoles dans le territoire est très importante afin d'augmenter sa valeur ajoutée. Dans ce contexte, les exploitants de notre échantillon peuvent avoir recours à la transformation des produits sur leurs exploitations, aux circuits courts de vente, à la vente directe et à la diversification des clients, des débouchés et des réseaux commerciaux de vente (surtout pour les exploitants 1, 2, 3 et 11). Ils peuvent aussi encourager l'agrotourisme dans la région en ouvrant leurs exploitations à la visite, à l'hébergement, etc.

Synthèse de l'analyse "multi-échelle":

La performance économique d'une exploitation agricole peut être appréciée en mesurant certains indicateurs liés à son activité et à sa structure financière. Une exploitation agricole donnée peut ne pas être performante à tous les niveaux de l'échelle économique car sa performance est fonction de la gestion menée par l'exploitant et de la relation qui existe entre les différentes activités financières. L'exploitant 1 par exemple est le plus performant par rapport à l'autonomie financière dans la mesure où ses capitaux propres représentent 72% de son passif total, alors qu'il est très dépendant aux aides (la valeur de ses aides est supérieure à son EBE). Or, ces aides sont inscrites dans les capitaux propres au passif du bilan de l'exploitation. L'ampleur de la dépendance de cet exploitant aux aides peut alors traduire l'importance de ses capitaux propres.

Chaque indicateur ne peut se suffire à lui seul car il permet de traduire un seul aspect de la durabilité économique et/ou financière de l'exploitation agricole. C'est la combinaison de l'ensemble des indicateurs qui permet d'estimer la situation économique et/ou financière de l'exploitation ainsi que les impacts de l'activité agricole sur l'environnement et la santé de l'applicateur. Cette combinaison est basée essentiellement sur la valeur ajoutée dégagée par l'exploitant. Ce dernier doit maximiser la richesse dégagée pour améliorer sa performance économique et/ou financière, et assurer la pérennité de son exploitation. En effet, la valeur ajoutée synthétise dans sa variation les différents risques liés à la production: variations des rendements et/ou des prix unitaires de vente, aléas engendrés par les consommations d'intrants, etc. Elle permet aussi d'assumer les choix et les décisions d'engagements structurels à moyen terme: embauche de main d'œuvre, charges d'installations et d'équipements, taxes professionnelles, taux de l'endettement, etc. Pour cela, l'exploitant doit éviter la baisse de sa valeur ajoutée, donc l'augmentation de ses coûts de production ou la diminution de ses produits. En ayant recours à plusieurs actions et/ou techniques agroécologiques menées au niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle, l'engagement dans une transition agroécologique permet de réaliser cet objectif.

La mise en œuvre d'une action ou technique agroécologique peut avoir plusieurs effets à différents niveaux. En effet, une même action et/ou technique agroécologique proposée peut répondre à plusieurs objectifs en même temps. La mise en place des infrastructures agroécologiques permet de réduire la pollution des eaux et des sols ainsi que l'achat des produits phytosanitaires, de freiner l'érosion et le ruissellement, d'améliorer la biodiversité, d'augmenter la fertilité du sol et de contrôler les ravageurs. Elle permet donc d'agir sur trois enjeux, à savoir l'environnement, la protection de la culture et l'économie. La couverture permanente du sol permet de réduire la consommation d'eau, donc le coût relatif à cette consommation, et la pollution des eaux et des sols, d'atténuer l'érosion, le ruissellement et l'intensité du travail, d'améliorer la biodiversité, d'augmenter la fertilité du sol et de contrôler les attaques des différents ennemis des cultures. Par conséquent, cette technique agit à la fois sur les enjeux environnement, protection de la culture, économie et société. La suppression de l'utilisation des pesticides chimiques permet de préserver la santé de l'exploitant ainsi que celle de son entourage et du consommateur, de réduire la pollution des eaux et des sols, d'améliorer la fertilité du sol, de conserver la biodiversité et d'augmenter la valeur ajoutée de l'exploitant en suppriment les coûts relatifs aux produits phytosanitaires. Elle agit donc à la fois sur la santé, l'environnement et l'économie.

L'exploitant peut donc mettre en place plusieurs actions et/ou techniques en même temps afin d'améliorer la performance de sa transition agroécologique au niveau des différents enjeux. Le choix d'un ou de plusieurs scénarios d'amélioration de cette performance dépend de quatre facteurs qui peuvent agir individuellement ou simultanément. Tout d'abord, il est fonction *des motivations* de l'exploitant, c'est-à-dire de sa préoccupation prioritaire. Dès lors, plusieurs cas de figures peuvent exister. Si l'exploitant s'intéresse à sa santé avant tout, il va opter pour la suppression ou la réduction de l'utilisation des pesticides chimiques, ou encore pour la substitution des produits les plus toxiques. Si la ressource en eau constitue sa première préoccupation, il va choisir une ou plusieurs techniques permettant essentiellement de mieux préserver la quantité et la qualité de cette ressource. S'il veut diminuer les coûts de production, donc augmenter sa valeur ajoutée, son choix va se diriger vers les techniques permettant de réduire la consommation d'eau et/ou d'énergie et/ou d'électricité ainsi que les achats d'engrais et/ou de produits phytosanitaires et/ou de semences et/ou d'aliments du bétail.

Ce choix dépend aussi *des caractéristiques du milieu* (localisation géographique de l'exploitation, type du relief, climat, etc.). Là aussi, plusieurs cas de figures peuvent se manifester. Pour une exploitation qui se trouve à proximité d'un cours d'eau par exemple, la réduction de l'utilisation des engrais minéraux, surtout azotés et phosphatés, et/ou des pesticides chimiques, en particulier les plus toxiques, ainsi que la limitation de leurs transferts peuvent être la priorité de son exploitant. L'absence des parcelles culturales à forte pente permet à l'exploitant de négliger les techniques ou les actions agroécologiques freinant l'érosion et/ou le ruissellement, surtout si ces phénomènes ne présentent pas un danger pour lui, et de s'intéresser plutôt à d'autres techniques pour d'autres objectifs. En présence d'un climat chaud et sec où les précipitations ne sont pas forcément très fréquentes, la mise en place de dispositifs pour récupérer et stocker les eaux de pluie, le recours à des variétés plus adaptées à la sécheresse et la couverture permanente du sol peuvent être les techniques les plus pertinentes.

La capacité technique de l'exploitant peut aussi jouer un rôle dans le choix du scénario. En effet, malgré ses savoir-faire, ses connaissances et son expérience, il est difficile d'être bien formé en tout. La gestion d'une exploitation agricole, quelque soit sa taille, exige la prise de nombreuses décisions en peu de temps. Par conséquent, l'exploitant a parfois du mal à savoir quelle option il doit choisir car

même s'il connait "théoriquement" les résultats, il a toujours des doutes sur les conséquences réelles. Il a besoin d'être rassuré et de connaitre avec précision l'effet de chaque scénario sur son exploitation et son entourage avant de se lancer dans l'exécution. Dans ce cas, l'exploitant peut avoir tendance à choisir le scénario pour lequel il connaît bien les conséquences possibles.

Or, il n'y a pas que la capacité technique de l'exploitant qui compte pour choisir la meilleure piste d'amélioration de la transition agroécologique, sa *capacité financière* est également à prendre en considération. En effet, certaines nouvelles actions comme l'installation d'une station d'épuration des eaux usées ou de recyclage des déchets non organiques individuelle ou collective, la mise en place des éoliennes et/ou des panneaux solaires, l'achat du matériel permettant de transformer des produits agricoles sur l'exploitation, etc. nécessitent des dépenses parfois énormes. L'exploitant doit donc faire face à ces nouveaux coûts d'installations et d'équipements et être capable d'apporter ce financement lors de toute nouvelle mise en place.

9.5. Comparaison entre l'outil développé et la méthode IDEA

Après avoir montré que les méthodes classiques d'évaluation sont peu adaptées pour évaluer la performance d'une exploitation biologique ou de celle en transition agroécologique, un nouvel outil a été construit dans le cadre de cette thèse de doctorat pour ce type d'évaluation. La comparaison entre les résultats issus d'une méthode classique d'évaluation et ceux obtenus à partir de l'outil développé peut permettre de vérifier et de valider la démarche méthodologique et les principes de ce dernier. La méthode IDEA est choisie pour cette comparaison car elle est la plus connue et la plus utilisée. En premier lieu, nous testons cette méthode classique sur six exploitations enquêtées dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone" pour comparer les résultats obtenus et les différentes performances agro-environnementales, sociales et économiques globales calculées à l'aide de notre outil. Cette première comparaison permet de vérifier et d'affirmer la conclusion déduite précédemment selon laquelle les méthodes classiques sont peu adaptées pour évaluer la performance ou la durabilité agroécologique. Ensuite, nous testons notre outil sur deux exploitations biologiques situées dans les deux départements de l'Ardèche et de la Drôme, présentées au début de ce présent travail de recherche afin de comparer les performances obtenues sur les deux échelles agro-environnementale et sociale avec les scores calculés sur les deux échelles agroécologique et socioterritoriale à l'aide de la méthode IDEA.

a) Application de la méthode IDEA sur six exploitations du projet "Post-MAET Gimone"

Au début de ce travail de recherche, nous avons évalué la durabilité de trois exploitations biologiques situées dans les deux départements de l'Ardèche et de la Drôme en utilisant trois méthodes classiques d'évaluation (IDEA, RAD et DIALECTE) et avons constaté que ces méthodes sont peu adaptées pour cette évaluation. En effet, elles prennent peu en compte les spécificités des systèmes de production biologiques et agroécologiques. Par conséquent, elles ne sont pas capables de mesurer la performance d'une transition agroécologique. Afin de confirmer ce résultat, nous avons testé la méthode IDEA sur quelques exploitations agricoles de notre échantillon dont la plupart sont engagées dans une démarche MAE depuis 2008. Six exploitations agricoles appartenant à six catégories différentes ont été choisies pour ce test: exploitations 1 *(cultures annuelles sans cultures légumières)*, 2 *(cultures annuelles avec cultures légumières)*, 4 *(cultures annuelles sans cultures légumières & prairies & élevage)*, 5 *(cultures annuelles avec cultures légumières & élevage)*, 8 *(cultures annuelles sans cultures légumières &*

élevage) et 11 *(cultures annuelles avec cultures légumières & prairies)*. L'idée est de tester la méthode IDEA sur le maximum de catégories. C'est pour cette raison que nous avons pris une exploitation de chaque catégorie.

Les résultats (Figure 70) montrent que les six exploitations agricoles sont plus durables sur l'échelle agroécologique que sur les autres échelles. En effet, les scores obtenus sur cette échelle sont bien supérieurs à ceux des autres échelles, ils dépassent 50/100, atteignant même 88/100 (exploitation 4). Pour toutes les exploitations, c'est l'échelle économique qui constitue le facteur limitant ou le point faible de leur durabilité car les scores les moins importants sont observés à ce niveau. A l'exception de l'exploitation 8, tous les scores économiques des autres exploitations sont inférieurs à 50/100. En ce qui concerne l'échelle socioterritoriale, trois exploitations sur six ont obtenu des scores supérieurs à 50/100. Selon cette méthode, la performance agroécologique des exploitations est "bonne" alors que ces exploitations, qu'elles soient conventionnelles (1, 2, 4, 5 et 8) ou biologiques (11), sont toutes au début d'un processus de transition agroécologique. Au niveau de la méthode IDEA, dès qu'il y a une seule bonne pratique en faveur de l'environnement et/ou de la biodiversité végétale et animale qui se manifeste, l'exploitation agricole peut facilement atteindre un score assez élevé alors qu'elle est loin d'être performante "agroécologiquement". D'ailleurs les exploitations conventionnelles constituent le meilleur exemple. Elles ont obtenu des scores élevés sur l'échelle agroécologique malgré l'utilisation des pesticides chimiques. Cette méthode ne tient pas compte des spécificités de chaque exploitation agricole. Nous prenons l'exemple de l'indicateur "Diversité des cultures annuelles et temporaires" de l'échelle agroécologique de cette méthode. Cet indicateur est constitué de trois éléments: le nombre d'espèces cultivées, le nombre de variétés et la superficie des légumineuses dans l'assolement. Des exploitations qui n'ont pas le même nombre de cultures et/ou de variétés végétales et/ou la même superficie occupée par des légumineuses, peuvent avoir la note maximale de l'indicateur. De plus, même en l'absence d'une présence significative de légumineuses dans l'assolement (> 10% SAU), l'exploitation peut atteindre le plafond de l'indicateur.

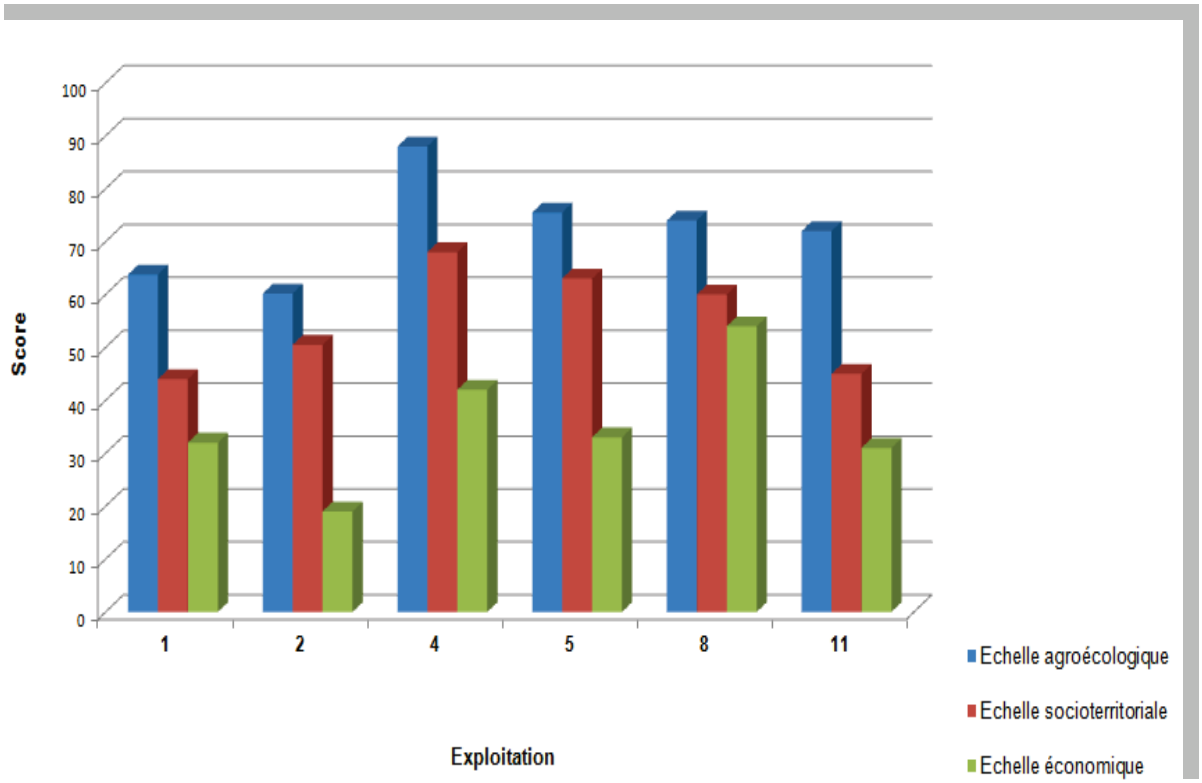


Figure 70. La durabilité des exploitations agricoles par la méthode IDEA (Résultats de calcul 2016)

Notre outil de diagnostic et d'évaluation a montré que toutes les exploitations étudiées, qu'elles soient conventionnelles ou biologiques, ne sont pas performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale car les performances globales obtenues sont en majorité très faibles, faibles ou moyennes. Cela est parfaitement logique puisque ces exploitations étudiées sont encore loin de toutes bonnes pratiques environnementales ou agroécologiques. Les exploitants n'ont mis en place que quelques techniques et/ou actions agricoles avantageuses pour l'environnement, la nature et l'être humain. Contrairement à la méthode IDEA, notre outil a aussi montré que les performances économiques sont généralement moyennes ou bonnes. Nous pouvons donc dire que, dans une certaine mesure, la méthode IDEA n'est pas apte à être utilisée pour évaluer la performance du processus de transition agroécologique d'une exploitation agricole.

b) Application de l'outil développé sur les deux exploitations biologiques 2 (Ardèche) et 3 (Drôme)

L'outil développé est testé sur deux exploitations biologiques de la région française Auvergne-Rhône-Alpes afin de valider sa pertinence. Ces deux exploitations n'appartiennent pas à la même catégorie: exploitation 2 *(cultures annuelles avec cultures légumières & cultures pérennes & prairies & élevage)* et exploitation 3 *(cultures pérennes & prairies)*. D'après les résultats obtenus (Figure 71), presque tous les pourcentages de performance agro-environnementale et sociale globale ne dépassent pas 50% des seuils des indicateurs. Ces deux exploitations ne sont donc pas performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale; leurs performances par rapport aux différents indicateurs sont en majorité très faibles, faibles ou moyennes.

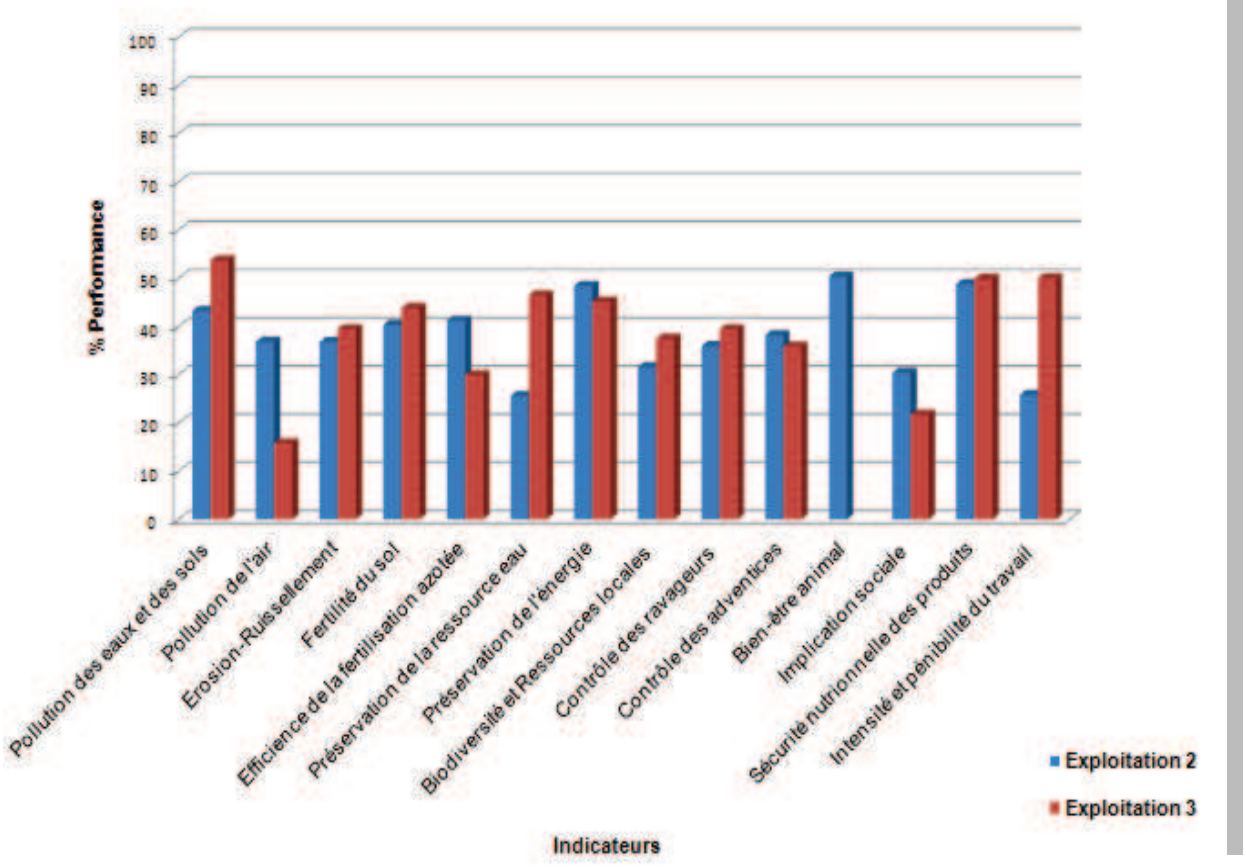


Figure 71. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Global" des deux exploitations biologiques en Ardèche et dans la Drôme (Résultats de calcul 2016)

Cependant, d'après la méthode IDEA, les scores des deux exploitations biologiques 2 et 3 sur les échelles agroécologique et socioterritoriale sont respectivement de 94/100, 59/100 et 83/100, 64/100 (Figure 23, page 98). La durabilité agroécologique et socioterritoriale des deux exploitations est donc "bonne" selon cette méthode. Généralement, un mode de production agricole biologique signifie seulement l'interdiction de l'utilisation des pesticides chimiques. En effet, plusieurs pratiques dites "durables" sont absentes dans l'une ou les deux exploitations. La couverture du sol, l'enherbement, la rotation allongée des cultures, l'association des cultures dans la même parcelle culturale, la lutte biologique, etc. sont toutes des pratiques agricoles absentes dans l'exploitation 2. L'exploitant 3 ne pratique pas l'agroforesterie et n'utilise pas d'autres techniques alternatives pour lutter contre les ravageurs. Mis à part les prairies permanentes, il n'existe pas d'autres infrastructures agroécologiques dans les deux exploitations. En outre, malgré la présence de certaines techniques, les notes correspondantes qui ont été attribuées ne sont pas très élevées, ce qui explique la faiblesse des performances globales obtenues. De ce fait, les exploitations biologiques ne sont pas forcément performantes "agroécologiquement" par rapport à l'ensemble des indicateurs, tout dépend des pratiques et/ou actions agricoles menées par l'exploitant.

Conclusion du chapitre IX

D'après l'outil de diagnostic et d'évaluation de la performance de transition agroécologique développé dans ce présent travail de recherche, les exploitations agricoles étudiées ne sont pas très performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale. En effet, par rapport à l'ensemble des indicateurs à l'exception de l'IRSA et de l'IRTE, les performances globales des différentes exploitations sont très faibles, faibles ou moyennes. Cependant, malgré la faiblesse des performances obtenues, un écart important entre le pourcentage de performance le plus élevé et le pourcentage de performance le plus faible par rapport à un indicateur donné, est parfois constaté au niveau des exploitations d'une même catégorie (c'est-à-dire mêmes mode et système de production, et productions agricoles), au niveau de celles qui appartiennent à des catégories différentes qu'elles soient conventionnelles ou biologiques et au niveau des différentes cultures.

Les performances agro-environnementales et sociales globales obtenues, ainsi que les écarts observés entre les performances des exploitations ou des cultures sont dus aux notes attribuées aux paramètres des différents indicateurs. Une exploitation n'est pas performante par rapport à un indicateur donné car les notes attribuées aux paramètres de ce dernier sont plus faibles que les notes maximales. L'indice de performance (c'est-à-dire la somme des notes attribuées) de cette exploitation est donc inférieur au seuil de l'indicateur. La différence au niveau des notes reflète la différence au niveau des actions et/ou techniques agricoles menées par chaque exploitant à l'échelle de l'exploitation (mise en place des infrastructures agroécologiques, production du compost, désherbage mécanique, etc.) et/ou de la parcelle (traitements chimiques ou biologiques et fertilisation des cultures). Les exploitants qui ont le même système de production peuvent ne pas pratiquer les mêmes techniques agricoles. Or, ils peuvent aussi avoir recours aux mêmes pratiques mais avec des méthodes de mise en œuvre différentes. De plus, les modes de traitement (doses appliquées, produits utilisés, nombre de passages, etc.) et/ou de fertilisation (quantités apportées, fractionnement de l'apport, etc.) varient d'une culture à l'autre et d'un exploitant à l'autre. Des options d'amélioration des performances globales sur les échelles agro-environnementale et sociale peuvent être suggérées pour chaque catégorie d'exploitations agricoles. La catégorie *des cultures annuelles sans cultures légumières* a été prise comme exemple dans cette présente étude. Des pratiques agroécologiques possibles à mettre en place ou à améliorer davantage sont alors proposées pour les quatre exploitants de cette catégorie. Le niveau d'intervention pour un changement possible est fonction du type d'indicateurs; il peut être l'exploitation, la parcelle ou les deux en même temps.

D'après notre outil de diagnostic et d'évaluation, les performances des exploitations agricoles étudiées à l'échelle économique sont en majorité moyennes ou bonnes. Il est difficile de juger la performance économique globale d'une exploitation agricole donnée. En effet, une seule exploitation peut avoir à la fois plusieurs performances (très faible et/ou faible et/ou moyenne et/ou bonne et/ou très bonne) par rapport aux différents indicateurs. Autrement dit, elle peut être à la fois très performante à l'égard d'un indicateur donné et très peu performante par rapport à un autre. Par conséquent, le recours à un seul indicateur économique ne suffit pas pour estimer la situation économique et/ou financière d'une exploitation agricole, mais c'est plutôt la combinaison de tous les indicateurs qu'il faut prendre en considération. Les exploitants peuvent augmenter davantage leur performance économique et atteindre même les performances maximales par rapport à l'ensemble des indicateurs. Pour cela, des options

d'amélioration sont également proposées. Ces options ne sont autres que les actions et/ou techniques agroécologiques suggérées au niveau de l'exploitation et/ou de la parcelle. En effet, la mise en œuvre d'une action ou technique agroécologique n'a pas seulement des effets sur les performances agro-environnementale et sociale, mais peut aussi influencer la performance économique. L'amélioration des performances par rapport aux indicateurs économiques dépend de la valeur ajoutée en agissant essentiellement sur les produits et/ou les intrants. Dans ce contexte, la transition agroécologique peut être une bonne solution car plusieurs techniques et/ou actions agroécologiques visent la diminution, voire la suppression, des coûts de production (engrais, pesticides, carburant, etc.) et l'accroissement des produits ou bénéfices réalisés. Une même action ou technique agroécologique proposée peut répondre à plusieurs objectifs en même temps, permettant ainsi d'améliorer la performance d'une exploitation donnée par rapport à plusieurs indicateurs. L'exploitant a donc la liberté de choisir une ou plusieurs pistes d'amélioration afin de rendre la performance de sa transition agroécologique plus importante par rapport aux différents enjeux (environnement, protection de la culture, santé, société et économie). Son choix dépend de quatre facteurs, à savoir ses motivations personnelles, ses capacités technique et financière, et les caractéristiques du milieu.

Afin de confirmer le résultat déduit selon lequel les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité d'une exploitation agricole sont peu adaptées pour évaluer la performance du processus de transition agroécologique, de vérifier la pertinence de l'outil développé dans ce travail de recherche et de valider sa démarche méthodologique et ses principes, nous avons testé la méthode IDEA sur six exploitations enquêtées dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone" ainsi que le nouvel outil développé sur deux exploitations biologiques situées dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme. Nous avons comparé après les scores obtenus à l'aide de la méthode IDEA et les pourcentages de performance calculés par notre outil. Vu la phase de transition agroécologique que traversent les onze exploitations étudiées, les résultats obtenus par l'outil développé sont plus logiques. La comparaison entre les deux méthodes a confirmé le fait que la méthode IDEA prend peu en compte les spécificités des systèmes de production biologiques et agroécologiques, et par conséquent qu'elle n'est pas très adéquate, dans une certaine mesure, pour évaluer la performance du processus de transition agroécologique au sein d'une exploitation agricole. Cette comparaison a également montré que les exploitations biologiques ne sont pas forcément performantes "agroécologiquement" par rapport à l'ensemble des indicateurs, tout dépend des pratiques et/ou actions agricoles menées par l'exploitant et de leurs rôles dans la réalisation des objectifs.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

Ce présent travail de recherche s'insère dans le cadre du projet CASDAR "Post-MAET Gimone" dont l'objectif principal est d'améliorer la qualité de l'eau du BAC de Beaumont-de-Lomagne classé Grenelle en diminuant sa contamination par les matières actives des produits chimiques et les nitrates. Notre outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique est testé en utilisant les données de onze exploitants qui ont accepté d'être enquêtés dans le cadre de ce projet et dont la plupart sont engagés dans une démarche MAE. Le choix de ces exploitants a été fait en fonction de leur disponibilité pendant la période des enquêtes (janvier 2015 et 2016). En outre, afin de vérifier la pertinence de notre outil, nous avons choisi de le tester sur les deux types d'exploitations, conventionnelle et biologique. Le diagnostic global d'une exploitation agricole permet de déterminer ses points forts et ses défaillances, et de comprendre le processus de son fonctionnement. L'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique dépend des résultats de ce diagnostic. Par conséquent, afin de réussir le diagnostic, l'évaluation du processus agroécologique et le choix des pistes possibles d'amélioration des performances agro-environnementale, sociale et économique, il est nécessaire de connaitre les caractéristiques des exploitations agricoles (localisation géographique, superficie, systèmes de culture, etc.) ainsi que celles de leurs parcelles culturales (organisation dans l'espace, pente, type de sol, les valeurs IFT, IRTE et IRSA pondérés par hectare, etc.).

L'étude des différents itinéraires techniques des onze exploitations a permis d'analyser la variabilité des indicateurs IFT, IRSA et IRTE pondérés/ha. Une variation au niveau des valeurs de ces trois indicateurs est observée entre les parcelles culturales. Cette variation est fonction des itinéraires techniques et des différentes stratégies de choix des produits phytosanitaires. Elle met l'accent sur la relation entre les trois indicateurs. En effet, le recours à la pression phytosanitaire seulement pour caractériser les itinéraires techniques et identifier les risques n'est pas suffisant. Le fait de diminuer la quantité des produits phytosanitaires utilisés n'entraine pas forcément la réduction des toxicités. Autrement dit, la présence d'un IFT faible à l'hectare ne signifie pas obligatoirement l'absence d'une toxicité sur la santé de l'applicateur et/ou sur l'environnement. Certains produits phytosanitaires ne possèdent pas des IFT/ha très grands, mais en revanche ils se caractérisent par des valeurs IRSA et/ou IRTE à l'hectare élevées, voire très élevées. De ce fait, la relation entre les trois indicateurs doit être prise en compte lors de la caractérisation des itinéraires techniques et l'identification des risques. Les deux indicateurs IRSA et IRTE peuvent être utilisés dans des outils de gestion agricole et d'aide à la décision pour compléter l'indicateur de pression IFT, comme c'est le cas de notre nouvel outil de diagnostic et d'évaluation de la performance de transition agroécologique.

La transition vers des systèmes de production plus économes en intrants et plus respectueux de l'environnement et de la santé humaine ne dépend pas seulement des caractéristiques des exploitations agricoles mais également du facteur humain. Il ressort, d'après les rencontres avec les différents agriculteurs et les enquêtes réalisées dans le cadre de cette présente étude, que les facteurs susceptibles d'expliquer le changement de paradigme et le passage à un mode de production plus durable sont très

nombreux, qu'ils soient internes à l'exploitation (caractéristiques de l'exploitant et de l'exploitation) ou externes (contextes agricole, économique, politique et environnemental). Ces facteurs peuvent jouer sur les motivations des exploitants afin de prendre leurs décisions. Dans ce travail de recherche, trois types de motivations ont été observés: *i)* ceux qui adhèrent au mode de production biologique par intérêt économique, et plus précisément pour assurer une autonomie et diminuer les charges ou pour garantir un revenu à partir des aides publiques, *ii)* ceux qui ont choisi la transition agroécologique pour des raisons idéologiques concernant essentiellement la conservation de l'environnement, de la nature et/ou la préservation de la santé, et *iii)* ceux qui s'intéressent à la fois à l'économie (augmenter la rentabilité et réduire les coûts de production), à l'environnement (réduire la pollution des eaux de la Gimone à Beaumont-de-Lomagne) et à la santé humaine (santé de l'applicateur, de son entourage et celle du consommateur).

Les résultats de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique aux échelles agro-environnementale et sociale ont été présentés sur trois niveaux: *Exploitation*, *Parcelle* et *Global* regroupant parcelle et exploitation. Pour l'échelle économique, les résultats sont présentés au niveau global de l'exploitation seulement. Tous les résultats se représentent sous forme de pourcentages de performance permettant ainsi de positionner les exploitations agricoles ou les cultures par rapport à des seuils de performance prédéfinis et de les comparer les unes aux autres. Sur les échelles agro-environnementale et sociale, les résultats ont montré que les performances par rapport aux différents indicateurs varient d'une exploitation agricole ou d'une culture à l'autre. En effet, les performances obtenues aux trois niveaux peuvent être inférieures, égales ou supérieures à 50% des seuils maximum. Sur ces deux échelles, les exploitations étudiées ne sont pas performantes; elles sont au début d'une transition agroécologique. Leurs performances agro-environnementales et sociales globales sont généralement très faibles, faibles ou moyennes par rapport à la plupart des indicateurs. Les performances globales obtenues et les écarts qui existent entre elles sont dus aux notes attribuées aux paramètres des différents indicateurs. Par conséquent, ils sont dus aux caractéristiques techniques (fertilisation, traitement, utilisation des ressources, etc.), sociales (échange, entraide, travail, etc.) et économiques (coûts, marge brute, etc.) de chaque exploitation agricole. Les résultats à l'échelle économique ont montré que les performances des différentes exploitations étudiées par rapport aux indicateurs peuvent être également inférieures, égales ou supérieures à 50% des seuils maximum, atteignant même les performances maximales dans certains cas. Ces performances sont en majorité moyennes ou bonnes.

Afin d'améliorer les performances agroécologiques obtenues sur les échelles agro-environnementale, sociale et économique et d'atteindre les performances maximales, des actions et/ou des techniques agroécologiques possibles peuvent être proposées pour chaque catégorie d'exploitations. Le niveau d'intervention pour un ou plusieurs changements possibles est fonction du type d'indicateur; il peut être l'exploitation agricole, la parcelle culturale ou les deux en même temps. Le recours au SIG peut faciliter cette intervention. La présentation spatiale des caractéristiques du territoire de l'étude, des exploitations enquêtées et de leurs parcelles culturales facilite le choix du scénario d'amélioration approprié et sa mise en œuvre, et permet de visualiser les conséquences générées. Une même action ou technique proposée peut répondre à plusieurs objectifs en même temps, permettant ainsi d'améliorer la performance d'une exploitation donnée par rapport à plusieurs indicateurs. L'exploitant a donc la liberté de choisir une ou plusieurs pistes d'amélioration afin de rendre la performance de sa transition

agroécologique plus importante au niveau des différents enjeux (environnement, protection de la culture, santé, société et économie). Son choix dépend de quatre facteurs, à savoir ses motivations personnelles, ses capacités technique et financière, et les caractéristiques du milieu.

Pour confirmer le résultat selon lequel les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité d'une exploitation agricole sont peu adaptées pour évaluer la performance du processus de transition agroécologique d'une exploitation agricole, vérifier la pertinence de l'outil développé dans ce travail de recherche et valider sa démarche méthodologique et ses principes, nous avons testé la méthode IDEA sur six exploitations enquêtées dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone" ainsi que l'outil développé sur deux exploitations biologiques situées dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme. Nous avons comparé les scores obtenus à l'aide de la méthode IDEA et les pourcentages de performance calculés par notre outil. Vu la phase de transition agroécologique que traversent les onze exploitations étudiées, les résultats obtenus par l'outil développé sont plus logiques. La comparaison entre les deux méthodes a confirmé le fait que la méthode IDEA prend peu en compte les spécificités des systèmes de production biologiques et agroécologiques, et par conséquent qu'elle n'est pas très adéquate, dans une certaine mesure, pour évaluer la performance de transition agroécologique au sein d'une exploitation agricole. La comparaison a également montré que les exploitations biologiques ne sont pas forcément performantes "agroécologiquement" par rapport à l'ensemble des indicateurs, tout dépend des pratiques et/ou actions agricoles menées par l'exploitant et de leurs rôles dans la réalisation des objectifs.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le monde agricole en Europe en général et en France plus particulièrement ne cesse de se transformer. Il est pris entre d'une part, la volonté de la société et des pouvoirs publics à faire évoluer les pratiques agricoles afin de réduire les effets indésirables sur l'environnement et la santé publique, et d'autre part, la nécessité de garder la capacité de compétition sur le marché mondialisé afin de maintenir le revenu des exploitants. Pour faire face à cette transformation et trouver un compromis entre les demandes sociales et la rentabilité économique des exploitations agricoles, il faut s'orienter vers une agriculture plus durable, plus performante, une agriculture moins consommatrice des ressources naturelles et plus protectrice de l'environnement, de la santé humaine ainsi que du bien-être animal tout en maintenant des revenus réguliers.

Pour qu'une exploitation agricole donnée soit durable, elle doit être viable, vivable, transmissible et reproductible en entretenant des liens économiques, sociaux et écologiques avec son environnement. Dans ce contexte, un mode de production agricole basé sur des systèmes de culture agroécologiques et sur l'utilisation des fonctionnalités écologiques, peut être une bonne solution. Ce mode de production permet de fournir plusieurs services écologiques ou écosystémiques qui sont en interaction continue. *Les services intrants* contribuent à la fourniture de nombreuses ressources nécessaires à l'activité agricole, au maintien des supports physicochimiques de la production agricole et à la régulation des interactions biotiques. *Les services de production* permettent la stabilité productive tout en incluant la qualité des produits agricoles fournis. *Les services des produits hors revenu agricole direct* sont délivrés au bénéfice de la société. Généralement, trois types de motivations sont à l'origine de passage à un mode de production agroécologique: l'intérêt économique en assurant une autonomie et en diminuant les coûts, les convictions idéologiques concernant la conservation de l'environnement, des paysages naturels et/ou la préservation de la santé humaine et animale, enfin l'intérêt économique et les convictions idéologiques simultanément. Mais la question majeure qui se pose est celle de savoir comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ? Des éléments d'analyse et de discussion ont permis de répondre à cette question de recherche et de valider les hypothèses initiales.

La revue et l'analyse bibliographiques sur l'agroécologie et la notion de durabilité agricole menées dans ce présent travail de recherche ont montré que, afin de répondre aux besoins du développement durable et d'être intégrée dans une approche multidimensionnelle, l'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique doit se faire sur les trois dimensions agro-environnementale, sociale et économique. Le test de trois méthodes classiques d'évaluation de la durabilité (IDEA, DIALECTE et RAD) réalisé sur trois exploitations biologiques situées dans les deux départements de l'Ardèche et de la Drôme de la région française Auvergne-Rhône-Alpes, et celui de la méthode IDEA effectué sur six exploitations enquêtées dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone" ont montré que

ces méthodes ne sont pas adaptées pour mesurer la performance biologique ou agroécologique des exploitations agricoles. Le processus de transition agroécologique doit pouvoir être évalué de manière rigoureuse et adaptée aux conditions spécifiques des systèmes de production et des territoires. La prise en considération des spécificités des systèmes agricoles biologiques et/ou agroécologiques est très importante pour le développement d'un outil efficace d'évaluation de la durabilité ou de la performance d'une exploitation agricole donnée.

En lien direct avec cette première hypothèse, selon laquelle les méthodes classiques d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles sont adaptées pour mesurer la performance du processus de transition agroécologique, nous avons montré qu'un modèle d'évaluation des pratiques agricoles basé sur des indicateurs de pression seulement n'est pas performant, la présence d'indicateurs d'impact est aussi nécessaire. En effet, l'analyse des différents itinéraires techniques des parcelles culturales étudiées a montré que le recours à la pression phytosanitaire seulement pour caractériser les itinéraires techniques et identifier les risques n'est pas suffisant. Le fait de diminuer la quantité des produits phytosanitaires utilisés n'entraine pas forcément la réduction des toxicités sur l'environnement et/ou la santé de l'applicateur. Cette analyse a donc mis l'accent sur les limites de l'utilisation des indicateurs de pression seuls (IFT, etc.) et sur l'utilité des indicateurs d'impact (IRSA, IRTE, etc.) dans les outils de gestion agricole et d'aide à la décision. L'outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique développé dans cette thèse de doctorat prend en considération cette utilité et permet l'assemblage des indicateurs de pression et d'impact.

L'application de ce nouvel outil sur onze exploitations agricoles dont deux biologiques, situées dans les départements du Tarn-et-Garonne et du Gers de la région Occitanie, a permis de positionner leurs performances agroécologiques ainsi que celles de leurs différentes cultures par rapport à la situation optimale et de les comparer entre elles. L'obtention des pourcentages de performance faibles par rapport aux différents indicateurs répartis en cinq enjeux (environnement, protection de la culture, santé, société et économie) devrait être, pour les exploitants concernés, une source de réflexion pour faire évoluer leurs exploitations et atteindre des performances agro-environnementales, sociales et économiques plus élevées. Les résultats obtenus ont montré que les exploitations étudiées ne sont pas performantes sur les deux échelles agro-environnementale et sociale malgré la présence de quelques performances élevées. Ceci est parfaitement logique puisqu'elles sont toutes au début d'une transition agroécologique. Les résultats ont également montré que les performances des différentes exploitations étudiées à l'échelle économique sont en majorité moyennes ou bonnes. Des rapports individuels présentant les résultats de diagnostic et d'évaluation des performances agroécologiques ont été rédigés par moi-même et donnés aux exploitants enquêtés dans le cadre du projet "Post-MAET Gimone". Des restitutions ont été organisées en présence des exploitants participant au projet afin de présenter les différents résultats d'une façon anonyme et d'offrir une synthèse des observations réalisées durant le projet. Les agriculteurs concernés étaient intéressés par la présentation des résultats, ils ont réagi en posant des questions surtout par rapport à la comparaison de leurs performances.

Des pistes ou options possibles d'amélioration, basées essentiellement sur des actions et/ou techniques agroécologiques, peuvent donc être suggérées par la suite afin d'améliorer les performances agro-environnementales, sociales et économiques globales obtenues. L'intervention pour un ou plusieurs

changements possibles peut se faire au niveau de la parcelle culturale et/ou de l'exploitation agricole. Les résultats obtenus ont validé notre troisième hypothèse de recherche selon laquelle la performance de l'exploitation agricole au niveau de la dimension agro-environnementale ou sociale ou économique influence ses performances au niveau des deux autres dimensions. En effet, la mise en œuvre d'une ou de plusieurs actions et/ou techniques agroécologiques peut avoir plusieurs effets de différentes natures: amélioration de la performance agro-environnementale et/ou de la performance sociale et/ou de la performance économique. Plusieurs actions et/ou techniques agroécologiques visent la diminution des coûts de production et l'accroissement des produits ou des bénéfices réalisés, donc l'augmentation de la valeur ajoutée d'un exploitant donné. Cette augmentation déclencherait à son tour une amélioration de la performance économique de l'exploitation agricole par rapport à l'efficacité économique, la productivité du capital, la sensibilité aux aides, l'autonomie financière, l'indépendance vis-à-vis les achats d'intrants et l'efficience du processus productif. Or, l'amélioration suite à l'augmentation de la valeur ajoutée ne s'arrête pas à l'échelle économique mais elle peut atteindre les performances agro-environnementales et sociales de l'exploitation en offrant la possibilité à l'exploitant de s'engager dans d'autres activités agricoles et/ou non agricoles et de les financer: l'installation d'une petite station de traitement des eaux usées et/ou des effluents liquides d'élevage, la mise en place des infrastructures agroécologiques plus diversifiées et leur entretien, l'achat du matériel nécessaire pour transformer des produits agricoles sur place, la construction de gites ou autres pour héberger des visiteurs et participer au développement de l'agrotourisme dans la région, etc. Par conséquent, une seule action ou technique agroécologique proposée peut répondre à plusieurs objectifs en même temps.

L'approche de recherche méthodique développée dans ce présent travail se distingue des approches classiques utilisées plus couramment en agronomie: il ne s'agit pas d'évaluer l'effet d'un seul facteur (une nouvelle action ou technique) mais d'avoir la possibilité de tester une combinaison d'actions et/ou techniques mises en œuvre sur les différentes échelles de la performance. L'exploitant a donc la liberté de choisir une ou plusieurs pistes possibles d'amélioration en fonction de ses motivations et/ou ses capacités technique et financière et/ou les caractéristiques du milieu afin d'augmenter davantage la performance de sa transition agroécologique. Autrement dit, il peut se fixer plusieurs objectifs dont la réalisation est fonction de la priorité. Ces objectifs peuvent être le profit maximum, la pérennité de l'exploitation agricole, l'augmentation du chiffre d'affaires, la santé, l'environnement, etc. Même si, gagner plus reste son seul objectif fondamental dans la plupart des cas, grâce à un mode de production agroécologique l'agriculteur peut réaliser cet objectif tout en respectant la nature, les ressources naturelles, les agroécosystèmes, le bien-être animal et sa santé ainsi que celle de son entourage. En revanche, il n'y a pas un seul modèle à suivre dans l'agroécologie. La mise en place des pratiques agroécologiques doit être adaptée en fonction des contextes et des milieux. De ce fait, l'effort de l'exploitant et ses savoir-faire ne suffisent pas, ils doivent être complétés par d'autres connaissances basées sur l'expérimentation et la recherche scientifiques. Or, le développement de l'agroécologie ne dépend pas seulement des savoir-faire et des connaissances, mais également de la formation, de l'information, de l'enseignement et des rôles des pouvoirs publics en termes d'encouragements, de subventions, d'aides auprès des jeunes agriculteurs, etc.

Cette présente étude a montré la convergence et la complémentarité entre la géographie, l'agronomie et l'environnement. Nous ne pouvons pas étudier le processus de production agricole et résoudre certaines problématiques environnementales sans prendre en considération l'environnement avec

toutes ses dimensions spatiales, sociales, écologiques et techniques. Les agronomes sont appelés à concevoir de nouveaux concepts et des méthodes plus efficaces pour comprendre ces dimensions et mieux étudier les différentes interactions entre les activités agricoles, les processus environnementaux et les dynamiques territoriales. Quand les pratiques agricoles évoluent, les milieux, les paysages et les processus écologiques changent. Ces pratiques n'ont pas seulement des effets sur les végétaux mais sur l'espace d'une manière générale (eaux, sols, animaux, êtres humains, etc.). Les effets peuvent être directs ou indirects, bénéfiques ou néfastes selon les objectifs, les moyens et les manières de mise en œuvre. Il est donc temps d'arrêter de considérer le milieu ou le paysage comme un support d'activité agronomique seulement. Ce croisement de disciplines peut être utilisé dans des travaux de recherche afin d'étudier et d'évaluer les impacts des activités agricoles sur l'espace, l'environnement et pourquoi pas sur la santé humaine et animale. La mesure de la performance d'une transition agroécologique en est un exemple. En effet, le principe de l'agroécologie est d'avoir un système de production à la fois autonome et résilient, et de supprimer les espaces mal ou peu utilisés au sein de l'exploitation agricole et du territoire. L'originalité de ce mode de production réside dans le fait qu'il permet la création de nouveaux paysages différents basés essentiellement sur les liens entre pratiques agricoles, biodiversité et fonctionnements écologiques des agrosystèmes. Pour réussir une transition agroécologique, les exploitants doivent avoir des connaissances très fines des potentiels agronomiques et des organisations spatiales de leurs terres agricoles. Dans ce contexte, notre étude propose une approche géographique de l'étude des pratiques agricoles afin de comprendre comment les agriculteurs prennent en compte le caractère multifonctionnel de l'activité agricole via la connexité spatiale. Cette connexité suppose que l'agriculteur agence ses pratiques dans l'espace et dans le temps en fonction de ses objectifs et de ses moyens de mise en œuvre. Il s'agit donc d'étudier et de comprendre la spatialité de la pratique agricole afin d'accroitre l'efficacité et la durabilité du système de production. D'où l'utilité de la modélisation et de la cartographie dans la prise de décision et la mise en place d'une stratégie de gestion concertée et adaptée aux spécificités du territoire.

L'application d'un ou de plusieurs scénarios d'amélioration nécessite l'intervention à l'échelle de la parcelle et/ou de l'exploitation. Le recours à l'utilisation d'un SIG, outil de présentation spatiale, peut faciliter cette intervention afin d'améliorer les situations technico-économique et agroécologique des exploitations agricoles. En effet, le SIG permet de stocker, traiter, analyser, gérer et présenter, sous formes de cartes, les caractéristiques du territoire étudié en général ainsi que celles des exploitations agricoles et de leurs parcelles culturales plus particulièrement. L'intervention au niveau de la parcelle et/ou de l'exploitation, pour exécuter un ou plusieurs changements possibles, nécessite de connaitre la spécificité du lieu en question et sa description exacte. Le recours à la cartographie par SIG permet l'acquisition de ces informations. A titre d'exemple, la mise en place d'une infrastructure antiérosive et la couverture du sol doivent se faire principalement au niveau des parcelles à forte pente. Le recours à la géolocalisation des différentes parcelles étudiées peut alors faciliter l'identification de celles à forte pente. La plantation des bandes enherbées doit être principalement exécutée au bord des parcelles traversées et/ou bordées par un ou plusieurs cours d'eau. Là aussi, la localisation géographique des différentes parcelles culturales à l'aide d'un SIG permet d'identifier les parcelles concernées par cette plantation. L'utilisation du SIG permet donc d'orienter les choix au cours de la proposition des pistes d'amélioration et de visualiser par la suite les conséquences des changements possibles.

L'agroécologie offre des alternatives à l'usage des pesticides chimiques. Ces alternatives permettent de mieux conserver les compartiments de l'environnement et de préserver la santé humaine ainsi que le bien-être animal. En revanche, la mise en place des pratiques agroécologiques peut être exposée à plusieurs obstacles financiers, techniques, politiques, etc. qui peuvent remettre en question le mode de production agroécologique, et donc nous pouvons nous demander si le passage à l'agroécologie est une bonne idée. Deux exemples peuvent illustrer ces obstacles. Malgré la présence de différents plans et projets nationaux en faveur de l'agroécologie, certaines politiques publiques défendent encore l'agriculture conventionnelle, avec l'idée que la modernisation du secteur agricole passe par plus de motorisation, d'intrants dérivés du pétrole, de grandes exploitations, etc. De ce fait, l'exploitant peut être inquiet à l'idée que, s'il passe à l'agroécologie, il ne bénéficiera pas des encouragements et des aides des politiques publiques, et ne sera pas défendu. Dans certains pays africains, le propriétaire des parcelles agricoles louées à des paysans pourrait les récupérer légalement s'il se rend compte que leur fertilité a été notablement améliorée. Dans ce cas, le paysan africain peut passer à l'agroécologie mais risque de perdre le foncier après avoir réalisé des améliorations remarquables.

Les indicateurs de l'outil de diagnostic et d'évaluation de la performance du processus de transition agroécologique développé dans cette présente étude, leurs paramètres et leurs systèmes de notation ont été élaborés en s'inspirant d'autres outils d'évaluation classiques et en se basant sur des éléments issus de la littérature et du contexte de l'étude. Des résultats cohérents ont été obtenus suite à l'application de l'outil sur onze exploitations agricoles en cours de transition agroécologique. Mais ce nouvel outil d'aide à la décision et les résultats obtenus sont-ils vraiment pertinents et fiables ? L'application de cet outil sur deux exploitations biologiques situées dans les départements de l'Ardèche et de la Drôme, et enquêtées au début de ce travail de recherche pour tester les méthodes classiques d'évaluation peut répondre à cette question. Contrairement aux trois méthodes classiques (IDEA, RAD et DIALECTE) testées au début sur les deux mêmes exploitations biologiques, notre nouvel outil a donné des résultats plus logiques et plus pertinents. En effet, les trois méthodes ont donné des résultats peu pertinents et contradictoires. Selon la méthode IDEA par exemple, les deux exploitations biologiques sont "bonnes" ou durables sur les échelles agroécologique et socioterritoriale avec des scores assez élevés. Toutefois, d'après l'outil développé, ces deux exploitations, même si elles sont biologiques, sont loin d'être très performantes sur les échelles agro-environnementale et sociale. Leurs performances globales par rapport aux différents indicateurs sont très faibles, faibles ou moyennes. Les exploitations biologiques ne sont donc pas forcément performantes "agroécologiquement", tout dépend des pratiques et/ou actions agricoles menées par l'exploitant et de leurs rôles dans la réalisation des objectifs.

Cette thèse de doctorat est le fruit de cinq ans de recherche et de réflexions à travers lesquels j'ai pu construire un outil pratique et utilisable par différents acteurs (agriculteurs, ingénieurs, conseillers agricoles, etc.) qui peut les aider à poser certaines questions, à prendre une ou plusieurs décisions et à changer, peut-être, la vie d'autres personnes. Comme tout outil de diagnostic et d'évaluation, notre modèle a des limites et des lacunes, et doit être amélioré. En effet, l'évaluation de la performance a été faite sur deux niveaux exploitation et parcelle. Or, le nombre de paramètres (techniques agricoles) utilisés au niveau exploitation est beaucoup plus important et les notes attribuées à ces paramètres sont parfois élevées, ce qui peut influencer le résultat global. Le nombre de paramètres surtout au niveau exploitation, leur système de notation et par conséquent les seuils des indicateurs sont donc des points à améliorer.

Ce travail de recherche est caractérisé par la présence de certaines limites dont l'explicitation permet d'approfondir davantage l'étude, d'obtenir des résultats meilleurs et d'ouvrir les portes pour d'autres perspectives.

Notre nouvel outil a été testé sur onze exploitations agricoles situées dans la même région, suivies par la même coopérative, exposées aux mêmes conditions climatiques et pédologiques, et caractérisées par le même type de production agricole (grandes cultures et parfois quelques cultures légumières). Par conséquent, afin de vérifier et de valider davantage la pertinence de l'outil et des indicateurs utilisés, il est nécessaire de le tester sur un échantillon plus représentatif, c'est-à-dire sur un nombre plus élevé d'exploitations situées dans plusieurs régions, exposées à des conditions climatiques et pédologiques différentes, et caractérisées par d'autres types de production agricole (arboriculture, maraichage ou viticulture).

Le calcul des bilans CORPEN au niveau des exploitations agricoles consiste à comparer les entrées d'azote ou de phosphore ou de potassium sous forme minérale et organique avec les sorties sous forme d'exportations par les productions végétales. Le bilan CORPEN tient compte de la minéralisation azotée, de la quantité d'azote ou de phosphore ou de potassium restante dans le sol à la fin de chaque campagne culturale (précédent cultural) et des pertes par lixiviation et/ou érosion et/ou ruissellement. Or, nous n'avons pas tenu compte de ces éléments lors du calcul. Les raisons en sont simples: d'une part, la minéralisation de l'azote et les pertes par lixiviation et/ou érosion et/ou ruissellement sont très compliquées à estimer, et d'autre part les données concernant les quantités d'azote, de phosphore et de potassium restantes dans le sol sont manquantes.

Le calcul de la consommation énergétique au niveau d'une exploitation agricole nécessite un certain nombre de données: quantités d'électricité, de gasoil (fioul), de gaz, d'azote et d'aliments de bétail consommées. Or, ce calcul pour certaines exploitations étudiées a été fait en l'absence de quelques données concernant surtout la quantité d'électricité consommée.

Perspectives de recherche

Nous considérons notre recherche comme exploratoire quant au sujet traité et à la méthodologie adoptée. Elle ouvre cependant la voie sur d'autres perspectives.

Les indicateurs économiques de notre outil restent centrés seulement sur des critères financiers au niveau de l'exploitation agricole. Or, la performance économique peut également se mesurer par l'évaluation de l'impact économique sur la société avec l'introduction de coûts et d'avantages (ou bénéfices) non marchands. Ces coûts non marchands représentent les coûts économiques indirects de l'activité agricole comme les coûts de pollution. En valorisant des services écosystémiques (protection des ressources naturelles, qualité alimentaire, conservation de la biodiversité et des paysages, etc.), la transition agroécologique peut réduire ces coûts et apporter plusieurs avantages à la société. Cette approche doit permettre de mieux prendre en considération le réel impact économique de la transition

agroécologique. D'où, la possibilité de développer de nouveaux indicateurs économiques capables de mesurer ces coûts et avantages non marchands.

Aucune référence ou base de données n'existe dans la littérature pour identifier les intervalles des valeurs IRTE et IRSA pondérés à l'hectare et les classer selon les productions agricoles permettant ainsi d'établir un système de notation pour ces deux indicateurs. Pour cela, nous nous sommes basés sur des données collectées lors des travaux de recherche effectués seulement sur deux sites: la zone d'étude de ce présent travail (départements Tarn-et-Garonne et Gers) et le bassin versant de l'étang de l'Or[42] (département de l'Hérault). Ces travaux ne concernent que trois types de production agricole essentiellement: grandes cultures, viticulture et arboriculture. Afin d'affiner le système de notation de ces deux indicateurs établi dans cette étude et d'obtenir des résultats plus cohérents, la création d'une base de données plus solide en fonction de tous les types de production agricole et de différents contextes est alors nécessaire.

L'analyse des pratiques agricoles, la mesure de la performance de transition agroécologique et la proposition des scénarios d'amélioration ont été faites à l'échelle de la parcelle et/ou de l'exploitation agricole. Or, une transition agroécologique au sein de plusieurs exploitations agricoles peut influencer des rapports et des liens beaucoup plus larges concernant d'autres acteurs, d'autres paysages ou d'autres voies économiques. En outre, des éléments importants dans un passage à l'agroécologie (les dynamiques des eaux, les cycles biogéochimiques, les épidémies ou les pollutions, etc.) sont liés à des échelles plus vastes que celle de la parcelle ou de l'exploitation. Pour cela, l'adaptation de l'outil développé ainsi que son application à une échelle plus large que l'exploitation agricole (bassin versant, région, etc.) pourraient être envisagées.

Dans cette étude, les techniques et/ou actions agroécologiques ont été classées en fonction des modes et systèmes de production, et des productions agricoles seulement. Cependant, leur mise en œuvre dépend du contexte dans lequel se situe l'exploitation agricole (localisation géographique, climat...). Le rôle de ces techniques et/ou actions sur l'impact que peut avoir un indicateur donné est donc différent en fonction des contextes. Autrement dit, pour un contexte donné, une même technique ou action agroécologique ne possède pas le même poids, le même degré d'importance au niveau de tous les indicateurs. D'où l'intérêt de tenir compte du facteur "poids" lors du classement des paramètres et de l'identification des indicateurs. Cette classification des paramètres selon les contextes doit être validée et améliorée par des experts agroéconomistes et des spécialistes de l'agroécologie. Cela ne peut se faire que dans le cadre d'une approche participative.

L'outil de diagnostic et d'évaluation développé est un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer la performance du processus de transition agroécologique, de proposer des scénarios d'amélioration et de simuler les différentes conséquences de plusieurs changements possibles afin de revoir les situations

[42] Mghirbi, O. (2016). Résilience des exploitations agricoles face au changement des pratiques phytosanitaires: Conception d'outils de gestion des risques liés aux pesticides-cas du bassin versant de l'étang de l'or en France. (Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III / UMR GRED).

agro-environnementale et socio-économique d'une exploitation agricole donnée. Cette simulation permet de mettre en évidence le caractère dynamique de notre outil. Or, ce caractère dynamique n'est pas intégré dans l'outil en l'état actuel de son développement car aucune simulation n'a été faite: le modèle permet d'établir un diagnostic global de la situation générale et de mesurer la performance de la transition agroécologique de l'exploitation agricole à l'instant "t" (l'instant présent). Il reste donc à construire sa partie dynamique en simulant les différentes conséquences, entre autres économiques, des modifications possibles (plantation des haies, rotation culturale plus allongée, baisse des prix de vente, suppression des charges phytosanitaires, etc.) issues des scénarios d'amélioration proposés à partir des résultats de l'évaluation. Cet outil reste alors un prototype à développer. Le développement de sa partie dynamique ainsi que son implémentation et opérationnalisation dans une plateforme web sont des objectifs envisagés dans le cadre d'un nouveau projet collaboratif de recherche.

D'autres éléments de précision (des modèles ou outils permettant de mesurer le taux d'érosion et/ou du ruissellement au niveau d'une exploitation agricole, etc.) et/ou de prévision (climatiques, risques aux bioagresseurs, etc.) ainsi que des stratégies d'aide à la décision (choix des produits phytosanitaires utilisés en termes de toxicité, etc.) pourront également être des inputs pour l'outil développé lors de la proposition de nouveaux scénarios.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abawi G.S., Widmer T.L. (2000). Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied soil ecology*, vol. 15, n. 1, p. 37-47.

Abbott M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A. *et al.* (1986). An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen,"SHE", 2: structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of hydrology*, vol. 87, n. 1-2, p. 61-77.

Aboudrare A. (2009). *Agronomie durable: principes et pratiques. Au profit des cadres et techniciens de l'ORMVA de Ouarzazate et de Migrations et Développement*. Rome: FAO. 46 p.

ACTA. (2008). Dossier : la recherche agricole pour réduire la facture pétrole. *Lettre du réseau ACTA*, n. 2, p. 1-4. http://www.acta.asso.fr/fileadmin/ressources/Editions-PLAQUETTES_ACTA/ACTA_lettre2.pdf

ADEME. (2012). *Faire son compost. Réduire ses déchets tout en nourrissant le sol*. 23 p. (Les déchets). http://ademe.typepad.fr/files/guide_ademe_compostage_domestique.pdf

Adigoun F.A. (2002). *Impact des traitements phytosanitaires du niébé sur l'environnement et la santé des populations : cas de Klouékanmé et de la basse vallée de l'Ouémé (Bénin)*. Mémoire (Maîtrise Professionnelle, Option Environnement et Santé): Université d'Abomey Calavi (UAC), Abomey Calavi (Bénin). 71 p.

AGROBIO. (2014). *Les engrais verts : un outil pour le bon fonctionnement du sol*. Villeneuve sur Lot: AgroBio 47. 8 p. http://www.agrobio47.fr/images/stories/fruit/gev.pdf

Aktar W., Sengupta D., Chowdhury A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, March 2009, vol. 2, n. 1, p. 1-12.

Albouchi L., Bachta M.-S., Jacquet F. (2005). Estimation et décomposition de l'efficacité économique des zones irriguées pour mieux gérer les inefficacités existantes. In: Bachta M.-S. (ed.) *Séminaire Euro Méditerranéen : Les Instruments Economiques et la Modernisation des Périmètres Irrigués*. Kairouan: CIRAD. p. 1-19. Séminaire WADEMED WP2, 2005/11/21-22, Sousse (Tunisie).

Allwood A.J., Leblanc L., Tora Vueti E. *et al.* (2001). *Méthodes de lutte contre les mouches des fruits dans les pays et territoires insulaires du Pacifique*. Nouméa: Secrétariat général de la Communauté du Pacifique. 12 p. (Fiche technique, n. 40). http://lrd.spc.int/pubs/doc_download/2173-pal-40-fruit-fly-control-french

Alter N. (2010). *L'innovation ordinaire*. 5 ed. Paris: PUF. 312 p. (Quatridge : Essais, Débats).

Altieri M.A. (1986). *L'Agroécologie : bases scientifiques d'une agriculture alternative*. Paris: Debard. 237 p.

Altieri M.A. (1987). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Boulder: Westview Press. 448 p.

Altieri M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 74, n. 1, p. 19-31.

Altieri M.A., Funes-Monzote F.R., Petersen P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 32, n. 1, p. 1-13.

Altieri M.A., Nicholls C.I. (2005). *Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture*. Mexico: UNEP. 290 p. (Basic Textbooks for Environmental Training, n. 9).

Altieri M.A., Nicholls C.I. (2012). Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency. In: Lichtfouse E. *Sustainable agriculture reviews*. Dordrecht: Springer. p. 1-29. (Sustainable Agriculture Reviews, vol. 11).

Anschütz J., Kome A., Nederlof M. *et al.* (2004). *Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol*. Wageningen: Fondation Agromisa. 105 p. (Série Agrodok, n. 13).

Arrojo N., Colombo E., Coquillaud M.-S. *et al.* (2011). *Fermes pédagogiques et développement durable. Comment expliquer l'agriculture durable au public*. Rambouillet: Bergerie Nationale. 158 p. (Les cahiers techniques de la Bergerie Nationale, n. 5).

ARVALIS. (2010a). *Compte-rendu technique 2009. 3ème année du programme "Demain la Bio sur les exploitations grandes cultures de la zone Centre"*. Paris: ARVALIS - ITAB. 143 p.

ARVALIS. (2010b). *Les légumineuses. Comment ça marche ?* Paris: ARVALIS. 8 p. http://www.afpf-asso.fr/files/fichiers/legumineuse-imprimeur.pdf

ARVALIS. (2015). *Préconisations régionales 2015-2016. Céréales à paille - Interventions de printemps*. Paris: ARVALIS. 106 p. (Choisir & Décider).

Association Environnement-Industrie. (2013). *Cuivre : synthèse spécifique au secteur d'activité agroalimentaire*. Marseille: Association Environnement-Industrie.
http://environnement-industrie.com/theme/Environnement/uploads/Cuivre43.pdf

Aubertot J.-N., Barbier J.M., Carpentier A. *et al.* (2007). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux*. Rapport d'expertise scientifique collective INRA et Cemagref. http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Pesticides-agriculture-et-environnement#

Aubry C. (2007). *La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique*. Mémoire (Habilitation à la Direction de Recherche d'Agronomie): Institut National Polytechnique, Toulouse (France). 101 p.

Ayadi H. (2013). *Outils de gestion de la pollution phytosanitaire diffuse au niveau d'un territoire: cas d'application zone humide Ramsar de la Merja Zerga au Maroc*. Thèse (Doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace, spécialité Agronomie): Université de Montpellier 3, (France). 283 p. + annexes 66 p.

Ayadi H., Le Bars M., Le Grusse P. *et al.* (2014). SimPhy: a simulation game to lessen the impact of phytosanitaries on health and the environment—the case of Merja Zerga in Morocco. *Environmental science and pollution research*, vol. 21, n. 7, p. 4950-4963.

Ayadi H., Le Grusse P., Fabre J. *et al.* (2012). *Indicateurs et diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricole : construction d'un indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE).* 6 p. 42. Congrès du Groupe Français des Pesticides (GFP) : Nouveaux Enjeux et Stratégies Novatrices pour la Protection des Plantes Cultivées dans un Contexte de Développement Durable, 2012/05/30-2012/06/01, Poitiers (France).

Bachmann L., Cruzada E., Wright S. (2009). *Food security and farmer empowerment: a study of the impacts of farmer-led sustainable agriculture in the Philippines*. Laguna (Philippines): MASIPAG. 152 p.

Baldé A. (2013). Le système de riziculture intensive (SRI), une réponse aux changements climatiques des producteurs de la Région de Fatick. *Agripade*, vol. 29, n. 1, p. 13-14.

Baldy C., Stigter C.-J. (1993). *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. Paris: INRA. 250 p. (Du labo au terrain).

Ballet J., Dubois J.-L., Mahieu F.-R. (2004). A la recherche du développement socialement durable : concepts fondamentaux et principes de base. *Développement durable et territoires*, Dossier 3 : Les dimensions humaine et sociale du Développement Durable.
https://developpementdurable.revues.org/1133

Balty I., Caron V., Chavolin M. *et al.* (2013). *Station d'épuration des eaux usées - prévention des risques biologiques*. Paris: INRS. 31 p. http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206152

Balzeau F. (2014). Les céréales : quel assolement pour quelle stratégie. *Lettre Veille Économique Agricole*, n. 39, p. 4-5. http://blog-agri.cerfrance.fr/blog-agri/wp-content/uploads/2011/12/LVE-AGRI-n%C2%B039.pdf

Bar M., Penot E., Benz H. (2011). *Indicateurs de vulnérabilité, résilience durabilité et viabilité des systèmes d'activité au Lac Alaotra, Madagascar : définition des concepts*. Paris: AFD. 45 p. (Document de travail BV Lac Alaotra, n. 76). http://agritrop.cirad.fr/564353/1/document_564353.pdf

Barat X. (2005). *L'agroécologie dans le contexte du Sud-Brésil : fondements et méthodes. Systématisation de l'expérience d'AVSF et ses partenaires sur le projet Alto Uruguay*. Lyon: VSF- CICDA - Agronomes et Vétérinaires sans frontières. 29 p.

Barberi P. (2003). Preventive and cultural methods for weed management. In: Labrada R. *Weed management for developing countries: Addendum 1*. Rome: FAO. p. 179-193. (FAO Plant Production and Protection Paper). http://www.fao.org/docrep/006/y5031e/y5031e0e.htm

Barbier J.-M., Lopez-Ridaura S. (2010). *Evaluation de la durabilité des systèmes de production agricoles : limites des démarches normatives et voies d'amélioration.* 9 p. ISDA 2010 : Innovation et Développement Durable dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire, 2010/06/28-30, Montpellier (France).

Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. *et al.* (1996). Les pesticides et les polluants organiques des sols. *Etude et gestion des sols*, vol. 3, n. 4, p. 279-296.

Beaudin I. (2006). *Revue de littérature : la mobilité du phosphore*. Québec: CRAAQ. 137 p. https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/beaudin-2006_revue_litt_mobilite_p.pdf

Beavers R., Hammermeister A., Frick B. *et al.* (2008). *Densité des semis de blé de printemps biologique dans la lutte aux mauvaises herbes*. Rapport final de recherche E2006-08. http://www.organicagcentre.ca/DOCs/OACC_bulletins06/OACC_Bulletin8_weed_wheat_f.pdf

Beketov M.A., Kefford B.J., Schäfer R.B. *et al.* (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, n. 27, p. 11039-11043.

Bekhouche-Guendouz N. (2011). *Evaluation de la durabilité des exploitations bovines laitières des bassins de la Mitidja et d'Annaba*. Thèse (Doctorat en Sciences Agronomiques): Institut National Polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre les Nancy. 308 p.

Belhadad F. (2007). *Cartes et coupes géologiques*. Rabat: Université Mohammed V - Agdal. 31 p. (Travaux pratiques de géologie - Série cartographie). http://www.fsr.ac.ma/cours/geologie/belhadad/TP_Carto.pdf

Ben Mimoun M. (2002). *La gestion de la fertilisation potassique en arboliculture fruitière.* 12 p. Atelier sur la Gestion de la Fertilisation Potassique, Acquis et Perspectives de la Recherche, 2012/12/10, Tunis (Tunisie).

Benimmas A. (1999). Apprendre à lire la carte thématique au secondaire ou développer le raisonnement géographique chez l'élève. *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 43, n. 120, p. 539-558.

Benoît M., Brossier J., Chia E. *et al.* (1988). *Diagnostic global d'exploitation agricole : une proposition méthodologique*. Versailles: INRA - SAD. 47 p. (Série etudes et recherches : INSA, n. 12).

Benoît M., Deffontaines J.-P., Lardon S. (2006). *Acteurs et territoires locaux : vers une géoagronomie de l'aménagement*. Versailles: INRA. 176 p.

Benoît M., Papy F. (1998). La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, n. 17, p. 53-62.

Benoit P. (2010). Enherbement des sols : quels effets possibles sur le devenir environnemental des pesticides ? *Fourrages*, n. 202, p. 95-102.

Bertin J. (1973). *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Gauthier Villars. 431 p.

Berton S., Billaz R., Burger P. *et al.* (2013). *Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables: paroles d'acteurs*. Viols Le Fort: Editions Cari. 95 p. (Agroécologie et développement).

Binder C.R., Feola G. (2013). Normative, systemic and procedural aspects: a review of indicator-based sustainability assessments in agriculture. In: Marta-Costa A.A., Soares da Silva E. *Methods and procedures for building sustainable farming systems: application in the european context*. Dordrecht: Springer p. 33-46.

Blair A., Ritz B., Wesseling C. *et al.* (2015). Pesticides and human health. *Occupational & Environmental Medicine*, February 2015, vol. 72, n. 2, p. 81-82.

Blazy J.-M. (2011). De l'innovation à l'adoption de nouvelles pratiques dans la filière banane. *Innovations Agronomiques*, vol. 16, n. 3, p. 25-37.

Blazy J.-M., Dorel M., Salmon F. *et al.* (2009). Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, July 2009, vol. 31, n. 1, p. 10-19.

Boissier M. (2006). *Organisation du travail et gestion des ressources humaines*. Paris: Vivéa. 56 p. (Synthèse Etudes Vivea, Rapport final). http://www.vivea.fr/wp-content/uploads/2013/05/Organisation-du-travail-et-gestion-des-ressources-humaines-Rapport.pdf

Bonin M., Houdart M. (2012). Organisations et dynamiques des territoires d'exploitations agricoles: études de cas dans les monts d'Ardèche et en Martinique. In: Lardon S. *Géoagronomie, paysage et projets de territoire : sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines*. Versailles: Quae. p. 73-92.

Bonneviale J.-R., Jussiau R., Marshall E. (1989). *Approche globale de l'exploitation agricole. Comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole: une méthode pour la formation et le développement*. Dijon: Educagri. 329 p.

Bonny S. (2010). *L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis.* 11 p. ISDA 2010, 2010/06/28-30, Montpellier (France).
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00522107v2/document

Bonny S. (2011). L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cahiers Agricultures*, Novembre-Décembre 2011, vol. 20, n. 6, p. 451-462.

Bonte J.B. (2010). *La rotation des cultures dans les systèmes céréaliers biologiques : peut-on combiner performances économiques, agronomiques et environnementales ? Première approche d'analyse multicritère*. Mémoire (Ingénieur): ISA (Institut Supérieur d'Agriculture), Lille (France). 61 p.

Bonté P. (1992). Tradition. In: Bonté P., Izard M. *Dictionnaire de l'ethnologie et de l'anthropologie*. 2 ed. Paris: PUF. p. 710-712.

Bontempi G., Lerman L. (2015). *Modélisation et simulation*. http://www.ulb.ac.be/di/map/gbonte/modsim/modsim_1.pdf

Bord J.-P. (2004). La carte et la construction des savoirs en géographie et dans les sciences sociales. In: Bord J.-P., Baduel P.-R. *Les cartes de la connaissance*. Paris: Karthala. p. 17-35. (Hommes Et Societes).

Bord J.-P. (2012). *L'univers des cartes : la carte et le cartographe*. Paris: Belin. 207 p. (Mappemonde).

Bordin P. (2002). *SIG : concepts, outils et données*. Paris: Hermès-Lavoisier. 259 p.

Bouguera A., Doumma A., Evina H.E. *et al.* (2003). *Valorisation de savoirs et savoir-faire : perspectives d'implication des acteurs, dont la femme, dans la conservation in-situ de la biodiversite du palmier dattier dans les oasis du Djerid (Tunisie)*. Montpellier: ICRA. 97 p. (Série Documents de Travail, n. 115).

Bouguerra M.L. (2003). *Les batailles de l'eau : pour un bien commun de l'humanité*. Paris: Éd. de l'atelier. 239 p. (Enjeux planète, n. 7).

Bourg D. (2002). *Quel avenir pour le développement durable ?* Paris: Le Pommier. 64 p.

Bouron P. (2005). *Cartographie - Lecture de carte*. Marne-la-Vallée: IGN. 101 p. http://cours-fad-public.ensg.eu/pluginfile.php/1319/mod_resource/content/1/LDC_Mini.pdf

Boutaud A. (2002). *Elaboration de Critères et Indicateurs de Développement Durable (CIDD) pour les collectivités locales*. Saint Etienne (France): 59 p. (Rapport ADEME, n. 1). Ebauche de la première partie de la thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'Environnement - Ecole des Mines de Saint-Etienne / Centre SITE. http://wwwv1.agora21.org/publications/ademe-boutaud.pdf

Boutin D., Sanscartier R., Brunelle J.-A. *et al.* (2011). *Rapport d'étude : contribution des systèmes de production biologique à l'agriculture durable*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 140 p. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/rapport-contribution-systeme-prod-bio-agriculture-durable.pdf

Bouvron M., Teillac-Deschamps P., Coreau A. *et al.* (2010). *Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France*. Paris: Commissariat général au développement durable. 70 p. (Études & documents, n. 20).

Briquel V., Vilain L., Bourdais J.-L. *et al.* (2001). La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) : une démarche pédagogique. *Ingénieries-EAT*, n. 25, p. 29-39.

Brodhag C., Breuil F., Gondran N. *et al.* (2004). *Dictionnaire du développement durable*. Saint-Denis: AFNOR. 296 p.

Brossier J., Brun A., Deffontaines J.-P. *et al.* (2008). *Quels paysages avec quels paysans ? Les Vosges du Sud à 30 ans d'intervalle*. Versailles: Quae. 126 p.

Brossier J., Chia E., Marshall E. *et al.* (2003). *Gestion de l'exploitation agricole familiale : éléments théoriques et méthodologiques*. Dijon: Educagri éditions. 224 p.

Brouwer C., Prins K., Kay M. *et al.* (1990). *Méthodes d'irrigation*. Rome: FAO. 65 p. (Gestion des eaux en irrigation. Manuel de formation, n. 5). http://www.fao.org/3/a-s8684f.pdf

Brunel S. (2012). *Le développement durable*. Paris: PUF. 128 p.

Burel F., Baudry J. (1999). *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Paris: Tec & Doc. 360 p.

Burrough P.A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Oxford University Press. 193 p.

Burrough P.A., McDonnell R.A., Lloyd C.D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press. 432 p.

Bussière F., Cabidoche Y.-M., Petro D. *et al.* (2011). Des innovations pour les enjeux multiples des productions vivrières et maraîchères des Antilles. *Innovations agronomiques*, vol. 16, p. 39-51.

Buttel F.H. (2003). *Envisioning the future development of farming in the USA: agroecology between extinction and multifunctionality.* 1-14 p. New Directions in Agroecology Research and Education, 2003/05/29-30, Wisconsin (Etats-Unis). http://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_2044_0.pdf

Capillon A. (1993). *Typologie des exploitations agricoles : contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Tomes 1 et 2*. Thèse (Doctorat d'Université): INA P-G Paris (France). 358 p.

Caporal F.R. (2012). *The Brasilian case: experiences and evolution.* 107 p. The potential of Agroecology: reclaiming food crisis, 2012/11/09, Bruxelles (Belgique).

Caradec Y. (2002). *Histoire de la cartographie : la cartographie pendant la préhistoire et l'antiquité*. Mémoire (Fin d'Etude): Ecole Polytechnique de la Marine Marchande, Marseille (France). 59 p.

CARI, Messe J.-L., Burger P. (2008). *Dossier spécial agroécologie : à l'occasion des 10 ans du CARI*. Viols le Fort: CARI. 32 p. http://www.cariassociation.org/Publications/Dossier-Speciale-Agroecologie

CASAFA. (1991). *Sustainable agriculture and food security. Report to UN Conference on Environmment and Development, Rio by ICSU Committee on the Applied of Science to Agriculture, Forestry and Aquaculture*. Paris: ICSU Press.

Cassman K.G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, May 1999, vol. 96, n. 11, p. 5952-5959.

Castillo G.E., Parmentier S., Chinotti L. *et al.* (2014). *Construire un nouvel avenir agricole. Soutenir l'agroécologie pour la planète et l'humanité*. Oxford: Oxfam. 20 p. (Rapport thématique d'OXFAM). https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/ib-building-new-agricultural-future-agroecology-280414-fr.pdf

Cavaillès E. (2010). *Avantages environnementaux et économiques d'une relance des légumineuses en France*. Paris: Commissariat général au Développement Durable. 4 p. (Le point sur, n. 40).

Cavayas F. (2012). *Introduction à la cartographie*. http://srv2.lemig.umontreal.ca/donnees/geo2522/Archives/2013-2014/PPTs_2-TransformationsGeometriques/NotesDeCours_Carto_rappels/GEO1532_Notes_2012.pdf

Celette F., Findeling A., Gary C. (2009). Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: the case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, January 2009, vol. 30, n. 1, p. 41-51.

CESE. (2016). *La transition agroécologique : défis et enjeux*. Paris: CESE (Conseil Economique Social et Environnemental). 105 p. http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2016/2016_13_agroecologie.pdf

Chabanne A., Forest F. (2010). Le semis direct avec couverture végétale : un outil d'ingénierie pour l'intensification écologique. In: CIRAD. *Inventer une agriculture écologiquement intensive pour nourrir la planète : compétences et savoir-faire du CIRAD*. Montpellier: CIRAD. p. 20-21.

Chakhar S. (2006). *Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique*. Thèse (Doctorat en Informatique): Université Paris Dauphine, (France). 288 p.

Chambre d'Agriculture Loir-et-Cher. (2012). *Exploitations d'élevage : obligations réglementaires concernant les effluents d'élevage*. http://centre.mesparcelles.fr/portail_base/blog_pa/blog41/data/documents/classeur/vademecum-effluents-d-elevage.pdf

Chambres d'Agriculture de Midi Pyrénées. (2010). *La conversion à l'AB. Principales dispositions réglementaires*. http://kit.tarn.chambagri.fr/fileadmin/DocInternet/filieres/BIO/BIO_conversion_ab.pdf

Chavas J.-P., Chambers R.G., Pope R.D. (2010). Production economics and farm management: a century of contributions. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 92, n. 2, p. 356-375.

Chenoune R. (2011). *Quelle approche pour représenter et évaluer la diversité agricole à l'échelle de l'exploitation et de la région ?* Montpellier: CIHEAM-IAMM. 59 p. (Master of Science, n. 114).

Chevassus-au-Louis B., Andral B., Femenias A. *et al.* (2012). *Bilan des connaissances scientifiques sur les causes de prolifération de macroalgues vertes - Application à la situation de la Bretagne et propositions*. Paris: Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. 147 p.

Chevassus-au-Louis B., Griffon M. (2008). La nouvelle modernité : une agriculture productive à haute valeur écologique. In: Club Déméter. *Déméter 2008 : économie et stratégies agricoles*. Paris: Club Déméter. p. 7-48.

Chevrier A., Barbier S. (2002). *Performances économiques et environnementales des techniques agricoles de conservation des sols : création d'un référentiel et premiers résultats*. Mémoire (Ingénieur): Institut Supérieur d'Agriculture de Lille ; Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, Beauvais ; Grignon (France). 94 p.

Chia E., Petit M., Brossier J. (2014). Théorie du comportement adaptatif et agriculture familiale. In: Gasselin P., Choisis J.-P., Petit S. *et al. L'agriculture en famille : travailler, réinventer, transmettre*. Les Ulis: EDP Sciences. p. 81-100.

CIRAD. (2009). *Le cirad en 2008*. Paris: CIRAD. 67 p. http://www.cirad.fr/publications-ressources/science-pour-tous/rapports-annuels/le-cirad-en-2008/intensification-ecologique

CIVAM. (2010). *Diagnostic de durabilité du Réseau Agriculture Durable. Guide de l'utilisateur*. Cesson-Sevigne: Réseau agriculture durable. 10 p. http://www.agriculture-durable.org/wp-content/uploads/2010/10/Guide-utilisateur-20101.pdf

Cloutier C., Cloutier C. (1992). Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In: Vincent C., Coderre D. *La lutte biologique*. Boucherville: Gaëtan Morin. p. 19-88.

Cohen E. (1991). *Gestion financière de l'entreprise et développement financier*. Vanves: EDICEF. 302 p. (Universités francophones).

COMIFER. (2013). *Calcul de la fertilisation azotée : guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies*. Paris: COMIFER. 159 p.
http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf

Commission Européenne. (1994). *Directive du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise en marché des produits phytopharmaceutiques*. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:31991L0414

Commission Européenne. (2000a). *La contribution de l'agriculture au développement rural.* Conférence internationale sur les considérations autres que d'ordre commercial dans le secteur de l'agriculture, 2000/07/02-04, Ullensvang (Norvège).

Commission Européenne. (2000b). *La contribution de l'agriculture aux considérations d'ordre non commercial liées à l'environnement et à la culture.* Conférence internationale sur les considérations autres que d'ordre commercial dans le secteur de l'agriculture, 2000/07/02-04, Ullensvang (Norvège).

Commission Européenne. (2001). *Cadre pour des indicateurs relatifs aux dimensions économique et sociale d'une agriculture et d'un développement rural durables*. 37 p.
http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/sustain/index_fr.pdf

Commission Européenne. (2004). *Texte consolidé produit par le système CONSLEG de l'Office des publications officielles des Communautés européennes*. Luxembourg: Office des publications officielles des Communautés européennes. 207 p.

Commission Européenne. (2009). *Règlement n° 1107/2009 du 21/10/09 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil*.
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/351

Congress US. (1995). *Biologically based technologies for pest control*. Washington: U.S. Government Printing Office. 204 p. http://ota.fas.org/reports/9506.pdf

Corade N., Del'Homme B. (2013). *Elaboration d'une méthode pour l'évaluation de la durabilité territoriale de circuits de proximité. Application à 5 circuits de proximité*. 126 p. Projet réalisé dans le cadre du Casdar « Sentinelle ». http://www.proximites-obs.fr/wp-content/uploads/sites/4/2016/01/corade-evaluation-durabilite.pdf

Courbon J.-C. (1993). *Systèmes d'information: structuration, modélisation et communication*. Paris: InterEditions. 288 p.

CRABE. (1986). *Les bases de la culture biologique des legumes : introduction, fertilisation, compostage, rotation et assolement, desherbage, maladies et ravageurs*. Opprebais: CRABE. 164 p.

Cuma Ouest. (2005). *Techniques alternatives de désherbage*. Fédération Régionale des cuma de l'Ouest. 4 p. http://www.ouest.cuma.fr/documents/techniques-alternatives-de-desherbage

Curry J.P. (1998). Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards C. *Earthworm Ecology*. Boca Raton: CRC Press. p. 91–113.

Da Cunha A., Ruegg J. (2003). *Développement durable et aménagement du territoire*. Lausanne (Suisse): Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR). 350 p.

Daguzan A. (2012). Pourquoi semer des couverts végétaux ? In: GABB 32 (ed.) *Agriculture du Carbone : couverts végétaux, techniques superficielles, agriculture biologique et agroforesterie*. Auch: GABB 32. p. 6-7. Journées de Rencontre et d'Echanges entre Agriculteurs du Sud-Ouest, 2012/02/10-2012/07/31, Auch, Marciac (France).

Dale V.H., Polasky S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological economics*, vol. 64, n. 2, p. 286-296.

Dantsis T., Douma C., Giourga C. *et al.* (2010). A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. *Ecological indicators*, vol. 10, n. 2, p. 256-263.

Dauvergne S. (2008). *La mobilisation d'indicateurs pour l'évaluation de la soutenabilité de l'agriculture*. Mémoire (Master Recherche Economie et Gouvernance des Territoires et de l'Environnement, spécialité Développement Soutenable et Intégré): Université de Versailles, Saint Quentin en Yvelines.

De Schutter O. (2010). *Rapport du Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation.* Genève: HCDH (Haut-Commissariat aux Droits de l'Homme). 23 p. (Conseil des droits de l'homme, Seizième session.). http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20110308_a-hrc-16-49_agroecology_fr.pdf

De Vallavieille-Pope C., Belhaj Fraj M., Mille B. *et al.* (2006). Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. *Dossier de l'environnement de l'INRA*, n. 30, p. 101-109.

Decourtye A., Gayrard M., Chabert A. *et al.* (2014). Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles. *Innovations Agronomiques*, vol. 34, p. 19-33.

Deffontaines J.-P. (2004). L'objet dans l'espace agricole. Le regard d'un géoagronome. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 12, n. 3, p. 299-304.

Deffontaines J.-P. (2006). Une approche géoagronomique. In: Benoît M., Lardon S., Deffontaines J.-P. *Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement*. Paris: INRA. p. 25-27. (savoir faire).

Deguine J.-P., Augusseau X., Insa G. *et al.* (2013). Gestion agroécologique des Mouches des légumes à la Réunion. *Innovations Agronomiques*, vol. 28, n. 6, p. 59-74.

Deguine J.-P., Duffourc V., Rousse P. (2012). *GAMOUR guide technique : gestion agroécologique des mouches des légumes à la Réunion*.
http://gamour.cirad.fr/site/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=97&Itemid=118

Dejoux J.-F., Ferré F., Meynard J.-M. (1999). Effects of sowing date and nitrogen availability on competitivity of rapeseed against weeds in order to develop new strategies of weed control with reduction of herbicide use. In: GCIRC (ed.) *Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress: new horizons for an old crop*. Paris: GCIRC. 10. International Rapeseed Congress, 1999/09/26-29, Canberra (Australie).

Delchet K. (2004). *Qu'est-ce que le développement durable ?* Paris: AFNOR. 60 p.

Delcour D., Balny P., Rathouis P. *et al.* (2013). *Plan d'action relatif à une meilleure utilisation de l'azote en agriculture*. Paris: Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie ; Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. 101 p.

Delpuech X., Coulon T. (eds). (2010). *Réduire l'impact environnemental des herbicides en viticulture : expertise technique collective*. Le Grau du Roi: IFV. 20 p. http://www.vignevin-lr.com/fileadmin/users/ifv-lr/Recherche_et_Experimentation_hrt/Actualites/Avril2011/DEFINITIF_Expertise_Herbicides_Oct2010.pdf

Den Hollander N.G., Bastiaans L., Kropff M.J. (2007). Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: II. Competitive ability of several clover species. *European Journal of Agronomy*, vol. 26, n. 2, p. 104-112.

Denis B. (2015). Bien-être des animaus d'élevage. Corriger les atteintes objectives sans fantasmer sur l'élevage « d'autrefois », ni tomber dans la radicalisation « animalitaire ». In: Club Déméter. *Déméter 2016*. Paris: Club Déméter. p. 171-186.

Diarisso T., Andrieu N., Chirat G. *et al.* (2011). Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois : cas du Burkina Faso. In: Vall E., Andrieu N., Chia E. *et al.* (eds). *Partenariat, modélisation, expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?* Montpellier: CIRAD. p. 1-8. Séminaire du Dispositif de Recherche en Partenariat ASAP (Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest), 2011/11/15-17, Bobo Dioulasso (Burkina Faso).

DiBiase D., Demers M., Johnson A. *et al.* (eds). (2006). *Geographic information science and technology body of knowledge*. Washington: Association of American Geographers (AAG). 162 p.

DiBlasio Brochard L. (2011). *Le développement durable : enjeux de définition et de mesurabilité*. Mémoire (Maîtrise en Sciences Politiques): Université du Québec, Montréal. 96 p.

Dick W.A. (1999). Book review: agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. *Journal of Environmental Quality*, vol. 28, n. 1, p. 354-355.

Djian-Caporalino C. (2009). *Les plantes pièges et la lutte contre les nématodes à galles.* 6 p. 11. Colloque Scientifique de la SNHF: Jardins, Environnement et Santé, 2009/05/15, Nantes (France).

Djian-Caporalino C., Bourdy G., Cayrol J.-C. (2008). Plantes nématicides et plantes résistantes aux nématodes. In: Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. *Biopesticides d'origine végétale : potentialités phytosanitaires*. 2 ed. Paris: Lavoisier. p. 125-185.

Djimasra N. (2009). *Efficacité technique, productivité et compétitivité des principaux pays producteurs de coton*. Thèse (Doctorat en Sciences Economiques): Université d'Orléans, France. 408 p.

Dos Santos A.M. (2002). *L'identification du systeme de gestion et son application a la recherche en gestion agricole au Brésil*. Thèse (Doctorat en Sciences de Gestion): Faculté de Droit, des Sciences Economiques et de Gestion Montpellier (France). 364 p.

Dubois A., Lacouture L. (2011). *Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux. Période 2007-2009*. Paris: Commissariat général au développement durable. 60 p. (Études & documents, n. 54). https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/811-bilan-micropolluants.pdf

Dufumier M. (2009). Sécurité alimentaire et développement durable. Repenser l'agronomie et les échanges internationaux. *Futuribles*, n. 352, p. 25-42.

Dufumier M. (2010). *Agroécologie et développement durable.* ISDA 2010, 2010/06/28-2010/07/01, Montpellier (France). https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00521817/document

Dufumier M. (2012). *Famine au Sud, malbouffe au Nord. Comment le bio peut nous sauver*. Paris: De Boeck Supérieur. 164 p.

Dugué P., Autfray P., Blanchard M. *et al.* (2012). *L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.* 22 p. Colloque René Dumont Revisité et les Politiques Agricoles Africaines, 2012/11/15-16, Paris (France).

Dugué P., Vall E. (2010). L'intégration de l'agriculture et de l'élevage: une forme d'intensification écologique dans les pays du Sud. In: Berry D., De Raïssac M., Guérin H. *Inventer une nouvelle agriculture*. Montpellier: CIRAD. p. 38-39.

Dugué P., Vayssieres J., Chia E. *et al.* (2011). L'intensification écologique: réflexions pour la mise en pratique de ce concept dans les zones de savane d'Afrique de l'Ouest. In: Vall E., Andrieu N., Chia E. *et al.* (eds). *Partenariat, modélisation, expérimentations: quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?* Montpellier: CIRAD. p. 1-15. Séminaire du Dispositif de Recherche en Partenariat ASAP (Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest), 2011/11/15-17, Bobo Dioulasso (Burkina Faso).

Dupin B. (2011). *L'agroécologie à Madagascar. Analyse des conditions d'adoption paysanne de diverses techniques agroécologiques à partir des expériences de coopération d'AVSF*. Lyon: Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières. 74 p.

Durand-Dastes F. (2001). Les concepts de la modélisation en analyse spatiale. In: Sanders L. *Modèles en analyse spatiale*. Paris: Hermès - Lavoisier. p. 31-59.

El Amine B. (2009). Optimisation de la consommation énergétique en irrigation localisée. *Agriculture du Maghreb*, n. 37, p. 74-78. http://www.agriculturedumaghreb.com/agriculture/AdM/archives/irrigation.pdf

Estival L. (2010). Pour en finir avec la faim. *Alternatives économiques*, n. 295.

EURAF, CDAF, TUBEX (2015). *Guide d'Agroforesterie*. 1 ed. Paris: EURAF. 15 p.
http://www.tubex.com/media/download_gallery/Tubex_AgroforestryGuide_FR.pdf

Falaise D. (2011). *Le diagnostic RAD : évaluation de la durabilité en agriculture.* 29-36 p. Méthodes et Outils d'évaluation de la Durabilité des Productions Animales. Pour quoi ? Pour qui ? Comment ?, 2011/12/09, Angers (France).

FAO. (2002). Focus : bonnes pratiques agricoles. *Magazine*, June 2002, p. 1-7.
http://www.fao.org/ag/fr/magazine/faogapfr.pdf

FAO. (2003). *Les engrais et leur application. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole*. 4 ed. Rome: FAO. 77 p.

FAO. (2006). Focus : agriculture de conservation. http://www.fao.org/ag/fr/magazine/0110sp.htm

FAO. (2013a). *Faire face à la pénurie d'eau - un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. Rome: FAO. 78 p. (FAO Rapports sur l'eau, n. 38). http://www.fao.org/3/a-i3015f.pdf

FAO. (2013b). *La santé des populations dépend de systèmes alimentaires sains : des systèmes alimentaires durables au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition. Journée mondiale de l'alimentation - 16 octobre 2013*. Rome: FAO. 6 p.

Faucheux S., O'Connor M. (1998). *Valuation for sustainable development: methods and policy indicators*. Camberley (Royaume-Uni): Edward Elgar Publisher. 326 p. (Advances in Ecological Economics).

Fernez-Walch S., Romon F. (2013). *Management de l'innovation : de la stratégie aux projets*. 3 ed. Paris: Magnard-Vuibert. 414 p.

Ferron P. (1999). Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*, vol. 8, n. 5, p. 389-396.

Fischer M.M., Scholten H.J., Unwin D. (1996). Geographic information systems, spatial Data Analysis and Spatial Modelling: an introduction. In: Fischer M. S.H., Unwin D. *Spatial Analytical Perspectives on GIS: GISDATA 4*. Oxford: Taylor & Francis. p. 2-23.

Flament J. (2012). *Le Réseau Agriculture Durable et la recherche agricole. Eléments de réflexion sur l'articulation entre recherche paysanne et recherche scientifique*. Bruxelles: CSA-PAEPARD. 52 p.

Frémont A. (1976). *La région, espace vécu*. Paris: Presses universitaires de France. 223 p. (SUP, le Géographe, n. 19).

Gafsi M., Favreau J.-L. (2010). Appropriate method to assess the sustainability of organic farming systems. In: Darnhofer I., Grötzer M. (eds). *Building sustainable rural futures. The added value of systems approaches in times of change and uncertainty*. Vienne: University of Natural Resources and Applied Life Sciences. p. 912-921. 9. European IFSA symposium, 2010/07/04-07, Vienne (Autriche).

Gervais L., Dorel M., Achard R. (2011). Utilisation de systèmes de culture innovants intégrant les plantes de service pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires en bananeraie aux Antilles françaises. In: AFPP (ed.) *Evolution des cadres réglementaires européen et français, nouveaux moyens et stratégies innovantes*. Paris: AFPP. p. 1-10. 4. Conférence Internationale sur les Méthodes Alternatives en Protection des Cultures, 2011/03/8-10, Lille (France).

Gips T. (1988). What is sustainable agriculture ? In: Allen P., Van Dusen D. (eds). *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Santa Cruz: University of California. p. 63-74. (vol. 1). 6. International Scientific Conference of the International Federation of Organic Agriculture Movements, 1986/08/18-20, Santa Cruz.

Girardin P., Bockstaller C., Van der Werf H. (1996). *Evaluation of the sustainability of a farm by means of indicators.* 1. International Conference INDEX 97 : Environmental Indices: Systems Analysis Approach, 1997/07/07-11, Saint-Petersburg (Russie).

Girardin P., Bockstaller C., Van der Werf H. (1999). Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of sustainable agriculture*, vol. 13, n. 4, p. 5-21.

Gliessman S.R. (2015). L'Agroécologie : un mouvement global pour la sécurité et la souveraineté alimentaires. In: FAO (ed.) *L'Agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome: FAO. p. 1-15. Symposium international de la FAO, 2014/09/18-19, Rome (Italie).

Godard O. (1994). Le développement durable : paysage intellectuel. *Natures, Sciences, Sociétés*, vol. 2, n. 4, p. 309-322.

Godard O., Salles J.-M. (1991). Entre nature et société, les jeux de l'irréversibilité dans la construction économique et sociale du champ de l'environnement. In: Boyer R., Chavance B., Godard O. *Les figures de l'irréversibilité en économie*. Paris: L'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS). p. 233-272.

Gonzales S. (2013). *Systèmes de culture innovants & performants.* 21 p. Symposium « Les agroéquipements et le développement durable », 2013/09/26, Dijon (France).

Goodchild M.F. (1992). Geographical information science. *International journal of geographical information systems*, vol. 6, n. 1, p. 31-45.

Goria S., Stempfelet M., De Crouy-Chanel P. (2011). *Introduction aux méthodes statistiques et aux systèmes d'information géographique en santé environnement – Application aux études écologiques – Résultats 2010*. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire (InVS). 65 p.

Gras R., Benoit M., Deffontaines J.-P. *et al.* (1989). *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'études*. Paris: L'Harmattan. 184 p.

Gray D.I., Parker W.J., Kemp E. (2009). Farm management research: a discussion of some of the important issues. *Journal of International Farm Management*, vol. 5, n. 1, p. 1-24.

Grenz J., Thalmann C., Stämpfli A. *et al.* (2009). RISE–a method for assessing the sustainability of agricultural production at farm level. *Rural Development News*, vol. 1, n. 1, p. 5-9.

Griffon M. (2012). De l'agriculture conventionnelle à des formes d'agricultures qui tendent vers une prise en compte de l'écologie scientifique... In: AEI. *L'agriculture écologiquement intensive face au changement global : entretiens AEI 2011*. Angers: Association internationale pour une agriculture écologiquement intensive. p. 9-16.

Griffon M. (2013). Après la révolution verte, peut-on promouvoir une agriculture économe, intensive et à forte valeur environnementale. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 99, n. 1, p. 9-14.

Griffon M., Mallet B. (1999). En quoi l'agroforesterie peut-elle contribuer à la révolution doublement verte ? *Bois et Forêts des Tropiques*, n. 260, p. 41-51.

Grimshaw R.G., Perry C.J., Smyle J. (1993). Technical considerations for sustainable agriculture. In: Srivastava J.P., Alderman H. (eds). *Agriculture and environmental challenges: proceedings of the thirteenth agricultural sector symposium*. Washington: World Bank. p. 17-34. 13. Agricultural Sector Symposium, 1993/01/6-7, Washington (Etats-Unis).

Gubbels P. (2011). *Échapper au cycle de la faim : les chemins de la résilience au Sahel*. Washington: Groundswell International. 123 p.

Guernier V. (2006). *Combiner analyse spatiale et épidémiologie pour l'aide à la décision dans la lutte contre la tuberculose en Guyane française*. Thèse (Doctorat d'Université en Environnement et Santé): Université d'Orléans, France. 224 p.

Guilbault P. (2011). Intérêtes et limites des différentes formes d'azotes apportées au sol en viticulture. In: IFV (ed.) *L'azote : un élément clé en viticulture et en oenologie*. Lisle sur Tarn: IFV Sud-Ouest. p. 10-13. Colloque: L'azote : un élément clé en viticulture et en oenologie, 2011/12/08, Toulouse (France).

Guillou M., Guyomard H., Huyghe C. *et al.* (2013). *Le projet agro-écologique : vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement, propositions pour le Ministre*. Paris: Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. 163 p.

Guiton M. (1998). *Ruissellement et risques majeurs. Phénomènes, exemples et gestion spatiale des crues*. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 315 p. (Environnement et Génie urbain, n. EG13).

Guyet T. (2010). Fouille de données spatiales pour la caractérisation spatiale de paysages en lien avec des fonctionnalités agro-écologiques. In: Monteil C., Paegelow M. (eds). *Outils, méthodes et modèles en géomatique pour la production de connaissances sur les territoires et le paysage*. p. 385-387. SAGEO 2010: Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale 2010/11/17-19, Toulouse (France).

Hansen J.W. (1996). Is agricultural sustainability a useful concept ? *Agricultural systems*, vol. 50, n. 2, p. 117-143.

Harwood R.R. (1990). A history of sustainable agriculture. In: Edwards C.A., Lal R., Madden P. *et al. Sustainable agricultural systems*. Boca Raton (Floride): CRC Press. p. 3-19.

Hauteclair P. (2010). *Prairies de fauche, prairies fleuries*. Réseau Nature. 24 p.
http://www.natagora.be/fileadmin/Reseau_nature/Fiche_de_gestion/Prairies_Fleuries_Fauches.pdf

Herrero M., Thornton P.K., Notenbaert A.M. *et al.* (2010). Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, vol. 327, n. 5967, p. 822-825.

Hertig P. (2011). Le développement durable : un projet multidimensionnel, un concept discuté. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, n. 13, p. 19-38.

Hess J. (2007). *Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation*. Thèse (Doctorat en Sciences): Université de Nice - Sophia Antipolis, France. 211 p.

Hlavackova P. (2005). *Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies*. Thèse (Doctorat en Chimie, Spécialité Science et Techniques du Déchet): Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France. 207 p.

Hollard H., Joliet B., et Favé M.-C. (2012). *L'agroécologie : cultivons la vie*. Paris: Sang de la Terre. 255 p. (Les dossiers de l'écologie).

Honlonkou N.A. (1999). *Impact économique des techniques de fertilisation des sols : cas de la jachère mucuna au Sud du Bénin*. Thèse (Doctorat en Economie Rurale): Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire). 188 p.

Houdart M. (2005). *Organisation spatiale des activités agricoles et pollution des eaux par les pesticides. Modélisation appliquée au bassin-versant de la Capot, Martinique*. Thèse (Doctorat en Géographie): Université des Antilles et de la Guyane, 485 p.

Hubert F., Pierre F. (2004). *Guide pour un diagnostic prairial*. Angers: Chambre d'agriculture de Maine-et-Loire. 244 p.

Huet B. (2013). *Les pratiques environnementales : comment mettre en place le développement durable dans les espaces verts ? Le paillage, le BRF, les méthodes culturales.* 17 p. Rencontre du Pays Albigesois Bastides - pratiques environnementales dans les espaces, 2013/06/10, Saint-Juéry (France).

IFEN. (2004). *Les pesticides dans les eaux. Sixième bilan annuel. Données 2002*. Orléans: IFEN. 34 p. (Etudes et Travaux, n. 42).

ITAB. (2011). *La culture des associations céréales/protéagineux en AB*. (Fiche Technique). http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/fiche-association.pdf

Jallas E., Crétenet M. (2003). Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles. Note introductive. In: Jamin J.Y., Seiny-Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Montpellier: CIRAD-CORAF. p. 1-8. Colloque Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, 2002/05/27-31, Garoua (Cameroun).

Janvier C., Ade C. (2013). Proposer des solutions techniques pour la gestion des bioagresseurs telluriques en cultures légumières : bilan du projet Prabiotel. *Innovations Agronomiques*, vol. 28, p. 87-99

Jeannequin B., Dosba F., Plénet D. *et al.* (2011). Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales. *Innovations agronomiques*, vol. 12, p. 73-85.

Johnston R.E., Bate J.D. (2013). *The power of strategy innovation: a new way of linking creativity and strategic planning to discover great business opportunities*. New York: AMACOM. 332 p.

Joliveau T. (2010). *La carte, un truc de maniaques ?* (Monde géonumérique).
https://mondegeonumerique.wordpress.com/2010/04/07/la-carte-un-truc-de-maniaques-2/

Joubert Garnaud C. (2010). *Les énergies renouvelables dans l'agriculture de la Charente-Maritime. L'émergence en milieu rural d'un nouveau moteur du développement économique et social non dépourvu d'incidences sur l'environnement local*. Thèse (Doctorat d'Université en Géographie): Université de La Rochelle, France. 353 p.

Joumard R., Nicolas J.-P., Boughédaoui M. (2010). Analyse d'indicateurs pour les études d'impact sur l'environnement. In: Université Senghor (ed.) *E3D 2010*. Alexandrie: Université Senghor. p. 137-144. (vol. Développement Durable). Colloque international francophone E3D " Eau, Déchets, et Développement Durable", 2010/03/28-31, Alexandrie (Égypte).

Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P. *et al.* (2012). *Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques*. Paris: INRA. 60 p. (Synthèse du rapport d'étude).

Klungness L.M., Jang E.B., Mau R.F.L. *et al.* (2005). New sanitation techniques for controlling tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 9, n. 2, p. 5-14.

Korogo S. (2011). La Problématique de l'agriculture au Sahel (Burkina Faso, Mali, Niger, Bénin). In: Loos N'Gourma, Lianes Coopération (eds). *L'agroécologie, une solution pour l'agriculture au Nord et au Sud ?* Conseil général du Pas-de-Calais. p. 6-14. Rencontre régionale organisée par Loos N'Gourma en partenariat avec Lianes coopération, 2011/05/23, Loos en Gohelle (France).

Lambert C. (2013). *L'agroécologie peut-elle répondre aux défis des agricultures du Sud ?* 21 p. Conférence iD4D, 2013/10/3, Paris (France).

Landais E. (1998). Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, n. 33, p. 5-22.

Lardon S. (2012). *Géoagronomie, paysage et projets de territoire : sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines*. Versailles: Quae. 340 p.

Lardon S., Blanc-Pamard C., Millier C. (2012a). La géo-agronomie pour observer, comprendre et agir sur les organisations spatiales agricoles. In: Lardon S. *Géoagronomie, paysage et projets de territoire : sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines*. Versailles: Quae. p. 15-17.

Lardon S., Caron P., Benoît M. (2012b). De la géoagronomie à l'agronomie des territoires : un parcours, des étapes clés et des prolongements. In: Lardon S. *Géoagronomie, paysage et projets de territoire : sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines*. Versailles: Quae. p. 21-42.

Larochelle D. (2011). *Méthode d'évaluation de la durabilité technico-économique des fermes laitières québécoises*. Mémoire (Maîtrise en Sciences Animales): Faculté des études supérieures de l'Université Laval, Québec. 91 p.

Lasbleiz R., Stokkink D. (2015). *L'agroécologie : inscrire l'agriculture dans la transition*. 11 p. (Notes d'analyse). http://www.pourlasolidarite.eu/sites/default/files/publications/files/na-2015-agroecologie-agric.pdf

Laurent F., Vieira Medeiros R. (2010). Des réseaux d'agriculteurs en faveur de l'environnement en France. *Cybergeo: European Journal of Geography*, n. 500, p. 1-23.

Lavorel S., Sarthou J.P., Carré G. *et al.* (2008). Chapitre 2 : Intérêts de la biodiversité pour les services rendus par les écosystèmes. In: Le Roux X., Barbault R., Baudry J. *et al. Agriculture et biodiversité : valoriser les synergies*. France: INRA. p. 1-266. (Expertise scientifique collective).

Lavorel V., Boulet A. (2010). L'agriculture écologiquement intensive : un nouveau cap. *Travaux & Innovations*, Août-Septembre 2010, n. 170, p. 22-29.

Le Cozler Y. (2011). *Choisir un outil adapté à ses enjeux : un certain regard.* 47-50 p. Méthodes et Outils d'évaluation de la Durabilité des Productions Animales. Pour quoi ? Pour qui ? Comment ?, 2011/12/09, Angers (France).

Le Grusse P., Mandart E., Ayadi H. *et al.* (2012). *L'Indicateur de Risque de Toxicité Humaine (IRTH).* 4 p. Colloque Phyto-Santé,Tous concernés !, 2012/12/17, Rouillé (France).

Le Roux X., Barbault R., Baudry J. *et al.* (2009). *Agriculture et biodiversité : valoriser les synergies. Synthèse*. France: INRA. 116 p. (Expertise scientifique collective).

Lefebvre L. (2008). *Déchets agricoles et développement durable : cas des pneus usagés en Ardèche*. Mémoire (Ingénieur, Spécialité Agriculture): Enesad (Etablissement national d'enseignement supérieur agronomique de Dijon), France. 69 p.

Legg W. (1999). *Sustainable agriculture: an economic perspective*. Paris: OCDE. 11 p.

Lehmann-ortega L., Roy P. (2009). Les stratégies de rupture : synthèse et perspectives. *Revue Française de Gestion*, n. 197, p. 113-126.

Leng P., Zhang Z., Pan G. *et al.* (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, n. 86, p. 19864-19873.

Leterme A. (2012). *Comprendre la décision d'assolement des producteurs européens pour mieux prévoir les surfaces : le cas de l'Allemagne et de la Roumanie*. Mémoire (Ingénieur de Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage): Agrocampus Ouest, Rennes (France). 64 p.

Leterme P., Morvan T. (2010). *Mieux valoriser la ressource organique dans le cadre de l'intensification écologique.* 101-118 p. Colloque de l'Académie Agriculture de France: Elevages intensifs et environnement. Les effluents: menace ou richesse ?, 2009/04/28, Paris (France).

Lévine P., Pomerol J.-C. (1989). *Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts*. Paris: Hermès. 335 p.

Lévy J. (1999). *Le tournant géographique. Penser l'espace pour lire le monde*. Paris: Belin. 399 p.

Lhoste P. (2004). Les relations agriculture-élevage. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, Juillet-Octobre 2004, vol. 11, n. 4-5, p. 253-255.

Liagre F., Santi F., Vert J. (2012). *L'agroforesterie en France : intérêts et enjeux*. Montreuil sous Bois: Centre d'Etudes et de Prospective. 4 p. (Analyse, n. 37). http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_analyse371201.pdf

Liebman M., Dyck E. (1993). Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological applications*, vol. 3, n. 1, p. 92-122.

Loisier J. (2015). *Étude sur l'apport des jeux sérieux pour la formation à distance au Canada francophone*. Montréal: REFAD. 122 p.

Longley M., Sotherton N.W. (1997). Factors determining the effects of pesticides upon butterflies inhabiting arable farmland. *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 61, n. 1, p. 1-12.

Loreau A. (2014). *Diversité et effets du paillage. Fiche de synthèse*. Angers: Plante & Cité. 15 p. http://www.plante-et-cite.fr/data/fichiers_ressources/pdf_fiches/synthese/fiche%20paillage%20final.pdf

Lourdel N. (2005). *Méthodes pédagogiques et représentation de la compréhension du développement durable : application à la formation des élèves ingénieurs*. Thèse (Doctorat en Sciences et Génie de l'Environnement): Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet-Saint-Etienne, France. 299 p.

Magdelaine C. (2013). Les pesticides ou produits phytosanitaires.
http://www.notre-planete.info/ecologie/alimentation/pesticides.php

Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W. (eds). (1991). *Geographical information systems: principles and applications*. Harlow: Longman. 404 p. (vol. 1).

Mancebo F. (2009). Des développements durables. Quel référentiel pour les politiques de développement durable en Europe ? *Cybergeo : European Journal of Geography*, Document 438.

Mandart E., Le Grusse P., Ayadi H. *et al.* (2010). *Un indicateur de risque de toxicité des pesticides en" Santé Humaine" comme paramètre dans un outil d'aide à la décision en production agricole: application à un territoire du Sud Ouest de la France.* 2 p. 40. Congrès du Groupe Français des Pesticides (GFP) : Pesticides et Environnements Méditerranéens, 2010/05/26-28, Banyuls-sur-Mer (France).

Marcotte P., Bourdeau L., Doyon M. (2006). Agrotourisme, agritourisme et tourisme à la ferme ? Une analyse comparative. *Téoros*, vol. 25, n. 3, p. 59-67.

Mazollier C. (2009). *La solarisation*. Avignon: GRAB. 2 p. (Ref bio maraîchage PACA). http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2010/07/FICHE-solarisation-ref-bio-2009.pdf

Mazollier C., Védie H. (2003). Les engrais verts en maraîchage biologique, 2ème partie : le choix des espèces. *Alter Agri*, n. 61, p. 22-25.

Mazoyer M., Roudart L. (2002). *Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine*. Paris: Seuil. 705 p. (Points Histoire).

MCE. (2003). *Les pesticides : réglementation et effets sur la santé et l'environnement*. Rennes: MCE (Maison de la Consommation et de l'Environnement). 30 p.
http://vevebm.free.fr/disparition%20abeilles/pesticides/synthese_pesticides.pdf

Meadows D., Meadows D., Randers J. (1972). *Les limites de la croissance (dans un monde fini)*. Montréal: Ecosociété. 413 p.

Messean A., Pelzer E., Bockstaller C. *et al.* (2010). Outils d'évaluation et d'aide à la conception de stratégies innovantes de protection des grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, vol. 8, p. 69-81.

Mghirbi O. (2016). *Résilience des exploitations agricoles face au changement des pratiques phytosanitaires : conception d'outils de gestion des risques liés aux pesticides – cas du bassin versant de l'étang de l'or en France*. Thèse (Doctorat d'Université en Géographie et Aménagement de l'Espace): Université Paul Valéry-Montpellier 3, France. 352 p.

Mghirbi O., Ellefi K., Le Grusse P. *et al.* (2015). Assessing plant protection practices using pressure indicator and toxicity risk indicators: analysis of therelationship between these indicators for improved risk management, application in viticulture. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, n. 11, p. 8058-8074.

Milleville P. (1987). Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les cahiers de la Recherche Développement*, n. 16, p. 3-7.

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. (2012). *Le projet agroécologique pour la France*. Paris: Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt,. 16 p. http://agriculture.gouv.fr/le-projet-agro-ecologique-pour-la-france

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. (2017). *GIEE : une première application de la loi d'avenir pour l'agriculture*. Paris: Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt,. 4 p. http://agriculture.gouv.fr/ministere/giee-une-premiere-application-de-la-loi-davenir-pour-lagriculture

Moine A. (2014). Le territoire comme un outil de transdisciplinarité vers des diagnostics partagés. In: Collège international des sciences du territoires (CIST) (ed.) *CIST 2014 proceedings. Fronts et frontières des sciences du territoire – Frontiers and boundaries of territorial sciences*. Paris: CIST. p. 284-290. 2. Colloque international: Fronts et frontières des sciences du territoire, 2014/03/27-28, Paris (France).

Moingeon B., Lehmann-Ortega L. (2010). Lever l'incertitude sur les conséquences de l'innovation stratégique. *Revue Française de Gestion*, n. 203, p. 57-70.

Mullon C., Boursier P. (1992). Eléments pour une analyse critique des systèmes d'information géographique. *Revue des Systèmes d'Information Géographique et de l'Analyse Spatiale*, vol. 2, n. 2, p. 151-172.

Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemin J.-P. *et al.* (2008). Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations agronomiques*, n. 3, p. 75-88.

N'dayegamiye A. (2007). Le travail du sol : une importante régie agricole. *Le Producteur de Lait Québécois*, Octobre 2007, p. 39-42.

Nair P.K.R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Dordrecht: Springer. 499 p.

Naulin H., Triplet A. (2003). *Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale*. Arques: PNR des Caps et Marais d'Opale. 43 p. http://www.giser.be/wp-content/uploads/2013/02/guide-lutte_erosion_parc_opale.pdf

Navarrete M., Bellon S., Geniaux G. *et al.* (2012). L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches. *Le courrier de l'environnement de l'Inra*, vol. 62, p. 57-70.

Ngo Nonga F. (2008). *Durabilité des activités agricoles des exploitations familiales agricoles à base de maïs du Grand Sud Cameroun.* 20 p. Journées de Recherches en Sciences Sociales, INRA, SFER, CIRAD, 2008/12/11-12, Lille (France).

Nicholls C.I., Altieri M.A. (2013). Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 33, n. 2, p. 257-274.

Nicholls C.I., Altieri M.A. (2015). L'agroécologie : concevoir des systèmes de production résilients au changement climatique pour les petits paysans des pays en voie de développement. In: FAO (ed.) *L'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome: FAO. p. 80-107. Symposium Internatioanl de la FAO, 2014/09/18-19, Rome (Italie).

Nonet G. (2010). *Une introduction au développement durable : document pédagogique*. Puteaux: IFORE. 75 p. http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0068/Temis-0068921/19056.pdf

Obert R., Mairesse M.-P. (2014). *DSCG 4 - Comptabilité et audit : manuel et applications*. 5 ed. Paris: DUNOD. 688 p. (Expert Sup).

OCDE. (1995). *L'agriculture durable : questions de fond et politiques dans les pays de l'OCDE*. Paris: OCDE. 77 p.

OCDE. (2001a). *Mesurer la productivité. Manuel de l'OCDE. Mesurer la croissance de la productivité par secteur et pour l'ensemble de l'économie*. Paris: OCDE. 162 p.

OCDE. (2001b). *Multifonctionnalité. Elaboration d'un cadre analytique*. Paris: OCDE. 177 p.

OECD. (1999). *Environmental indicators for agriculture. Issues and design "The York workshop"*. Paris: OECD. 213 p. (vol. 2).

OECD. (2001). *Environmental indicators for agriculture. Methods and results*. Paris: OECD. 409 p. (vol. 3).

ONU. (2013). *La population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards en 2050*. (Communiqué de l'ONU). http://www.adequations.org/spip.php?article985

Ottaviani D., Ji L., Pastore G. (2003). A multidimensional approach to understanding agro-ecosystems. A case study in Hubei Province, China. *Agricultural Systems*, vol. 76, n. 1, p. 207-225.

Pardo G., Riravololona M., Munier-Jolain N.M. (2010). Using a farming system model to evaluate cropping system prototypes: are labour constraints and economic performances hampering the adoption of Integrated Weed Management ? *European Journal of Agronomy*, vol. 33, n. 1, p. 24-32.

Parra C., Moulaert F. (2011). La nature de la durabilité sociale : vers une lecture socioculturelle du développement territorial durable. *Développement durable et territoires*, vol. 2, n. 2.

Parris T.M., Kates R.W. (2003). Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Review of environment and resources*, vol. 28, n. 1, p. 559-586.

Peeters A., Maljean J.F., Biala K. *et al.* (2004). Les indicateurs de biodiversité pour les prairies: un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevage. *Fourrages*, n. 178, p. 217-232.

Peigné J., Védie H., Demeusy J. *et al.* (2009). Techniques sans labour en agriculture biologique. *Innovations Agronomiques*, vol. 4, n. 2, p. 23-32

Pellet D., Hebeisen T., Accola A. *et al.* (2005). Colza d'automne : mélanges de variétés pour améliorer la stabilité du rendement. *Revue suisse d'agriculture*, vol. 37, n. 3, p. 125-129.

Pérez-Vitoria S. (2011). Panorama de l'agroécologie dans le Monde. Quelle place pour l'agroécologie dans les pays du Nord ? In: Loos N'Gourma, Lianes coopération (eds). *L'agroécologie, une solution pour l'agriculture au Nord et au Sud ?* Conseil général du Pas-de-Calais. p. 31-37. Rencontre régionale organisée par Loos N'Gourma en partenariat avec Lianes coopération, 2011/05/23, Loos en Gohelle (France).

Peschard D., Galan M.B., Boizard H. (2004). *Quel outil pour évaluer l'impact environnemental des pratiques agricoles à l'échelle de l'exploitation ? Analyse comparative de 5 méthodes de diagnostic agri-environnemental.* 17 p. OECD Expert Meeting on Farm Management Indicators for Agriculture and the Environnement, 2004/03/08-12, Palmerston North (Nouvelle-Zélande).

Petit J., Jobin P. (2005). *La fertilisation organique des cultures : les bases*. Québec: Fédération d'agriculture biologique du Québec. 48 p.

Petit M.S., Reau R., Dumas M. *et al.* (2012). Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations Agronomiques*, vol. 20, n. 5, p. 79-100.

Pimentel D., Hepperly P., Hanson J. *et al.* (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*, vol. 55, n. 7, p. 573-582.

Pingault N., Pleyber E., Champeaux C. *et al.* (2009). Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement. *Notes et études socio-économiques*, vol. 32, p. 61-94.

Pinton F., Grenand P. (2007). Savoirs traditionnels, populations locales et ressources globalisées. In: Aubertin C., Pinton F., Boisvert V. *Les Marchés de la biodiversité*. Paris: IRD Éditions. p. 165-194.

Pipon E. (2013). *Identification et caractérisation d'innovations agroécologiques en matière de gestion des adventices mises en place par des agriculteurs*. Mémoire (Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage): AgroCampus Ouest Rennes (France). 56 p. + annexes.

Plagès J.-N. (2013). L'amélioration des variétés de légumes pour la résistance aux parasites. *Jardins de France*, Janvier-Février 2013. http://www.jardinsdefrance.org/lamelioration-des-varietes-de-legumes-pour-la-resistance-aux-parasites/

Poidevin D. (1999). *La carte, moyen d'action : guide pratique pour la conception et la réalisation de cartes*. Paris: Ellipses Marketing. 200 p.

Pointereau P., Coulon F., Fleutiaux C. (2007). *Pertinence des infrastructures agroécologiques au sein d'un territoire dans le cadre de la Politique Agricole Commune*. Paris: Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable. 151 p.

Poole N., Penrose Buckley C. (2006). *Innovation challenges, constraints and opportunities for the rural poor*. Rome: IFAD. 63 p.

Porcher J. (2002). «Tu fais trop de sentiment»,«Bien-être animal», répression de l'affectivité, souffrance des éleveurs. *Travailler*, n. 8, p. 111-134.

Potier D. (2014). *Pesticides et agro-écologie, les champs du possible*. Paris: Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. 252 p.

Pretty J., Toulmin C., Williams S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, vol. 9, n. 1, p. 5-24.

Pretty J.N., Noble A.D., Bossio D. *et al.* (2006). Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science & Technology*, vol. 40, n. 4, p. 1114-1119.

Quinton J.N., Edwards G.M., Morgan R.P.C. (1997). The influence of vegetation species and plant properties on runoff and soil erosion: results from a rainfall simulation study in south east Spain. *Soil Use and Management*, vol. 13, n. 3, p. 143-148.

Rabhi P. (2001). *L'offrande au crépuscule : témoignage*. Paris: L'Harmattan. 247 p.

Rabhi P. (2008). *Manifeste pour la terre et l'humanisme : pour une insurrection des consciences*. Arles: Actes Sud. 124 p. (Essais sciences).

Raveau A. (2011). *Critère d'autonomie et comportement des exploitations agricoles face au choc économique de 2007*. Paris: Commissariat général au développement durable. 78 p. (Études et documents, n. 46).

Rawe T., Deering K., Echols W. *et al.* (2015). *Cultiver l'égalité : pour des systèmes agricoles justes et durables dans un contexte de changement climatique*. Atlanta: CARE. 29 p. http://www.carefrance.org/ressources/themas/1/11380dd-5368-2015-11_CULTIVER-L-EGALITE_.pdf

Reau R., Doré T. (2008). *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Dijon: Educagri. 175 p. (Transversales).

Reid W.V., Mooney H.A., Cropper A. *et al.* (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington: Island Press. 137 p.

Reij C., Waters-Bayer A. (2001). *Farmer innovation in Africa: a source of inspiration for agricultural development*. Londres: Routledge. 362 p.

Rejsek F. (2002). *Analyse des eaux - Aspects réglementaires et techniques*. Bordeaux: Canopé - CRDP de Bordeaux. 360 p. (Biologie technique).

Renolen A. (1997). *Conceptual modelling and spatiotemporal information systems: how to model the real world.* . 22 p. ScanGIS'97: 11. Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 1997/06/1-3, As (Norvège).

Ribier V., Griffon M. (2006). Quelles politiques agricoles pour accompagner la transition vers l'agro-écologie ? In: Club Déméter. *Le Déméter 2006: économie et stratégies agricoles*. Paris: Club Déméter. p. 145-163.

Richard C. (2010). *Quels indicateurs de durabilité en Wallonie pour les productions porcines et avicoles ?* 10ème Journée des Productions Porcines et Avicoles, 2010/10/13, Gembloux (Belgique).

Robin M.-M. (2014). *Les moissons du futur : comment l'agroécologie peut nourrir le monde*. Paris: La Découverte. 296 p. (Poche, n. 403).

Rochefort S., Lalancette R., Labbé R. *et al.* (2006). *Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement. Rapport final – Volet Entomologie*. 80 p. Projet PARDE # 3333.52.02.01

Rodriguez A. (2004). Le contrôle de la flore adventice en grandes cultures biologiques. Première partie : connaître la biologie des adventices pour mieux les maîtriser. *Alter Agri*, n. 68, p. 4-7.

Ronzon B. (2006). *Biodiversité et lutte biologique. Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait*. Mémoire (Certificat d'Etude Supérieures en Agriculture Biologique): ENITA Clermont Ferrand (France). 25 p.

Roose E., Kabore V., Guenat G. (1995). *Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région Soudano-Sahélienne (Burkina Faso).* 25 p. Congrès International sur la Restauration et Ia Réhabiliation des Terres Dégradées des Zones Arides et Semi-Arides, 1994/11/14-19, (Tunisie).

Rosset P.M., Machín Sosa B., Roque Jaime A.M. *et al.* (2011). The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, vol. 38, n. 1, p. 161-191.

Rossing W.A.H., Zander P., Josien E. *et al.* (2007). Integrative modelling approaches for analysis of impact of multifunctional agriculture: a review for France, Germany and The Netherlands. *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 120, n. 1, p. 41-57.

Rusch A., Valantin-Morison M., Roger-Estrade J. *et al.* (2012). Using landscape indicators to predict high pest infestations and successful natural pest control at the regional scale. *Landscape and Urban Planning*, vol. 105, n. 1, p. 62-73.

Rystedt B. (2014). Cartes topographiques. *Comité Français de Cartographie*, n. 221, p. 47-53.

Sadjania D. (2015). *Cartographie des risques d'érosion pouvant impacter la qualité de l'eau de la Gimone*. Mémoire (Master en Géographie et Aménagement, Spécialité Géographie de l'Environnement et du Paysage): Université de Toulouse, France. 76 p.

Sage R. (2014). Faux semis ou vrai semis ? *Info Bio Franche Comte, le bulletin technique régional*, Octobre 2014, n. 37, p. 1-6.

Salhi S., Imache A., Tonneau J.-P. *et al.* (2012). Les déterminants de l'adoption du système d'irrigation par goutte-à-goutte par les agriculteurs algériens de la plaine de la Mitidja. *Cahiers Agricultures*, vol. 21, n. 6, p. 417-426.

Samuel O., Dion S., St-Laurent L. *et al.* (2012). *Indicateur de risque de pesticides du Québec-IRPeQ*. 2 ed. Québec: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 36 p. (Santé et environnement).

Savadogo M., Somda J., Seynou O. *et al.* (2011). *Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso*. Ouagadougou: IUCN. 52 p. https://www.iucn.org/fr/content/catalogue-de-bonnes-pratiques-dadaptation-aux-risques-climatiques-au-burkina-faso

Schaller N. (2013). *L'agroécologie : des définitions variées, des principes communs*. Paris: Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. 1-4 p. (Analyse - Centre d'Etudes et de Prospective, n. 59).

Schaub A. (2005). *Synthèse bibliographique - Les légumineuses utilisées comme CIPAN*. Strasbourg: ARAA (Association pour la Relance Agronomique en Alsace). 10 p. https://www.araa-agronomie.org/download/get/2005-biblio-legumineuses/85.html

Schneider M.K., Lüscher G., Jeanneret P. *et al.* (2014). Gains to species diversity in organically farmed fields are not propagated at the farm level. *Nature Communications*, vol. 5, n. 4151, p. 19.

Schöll L.V. (2005). *Gérer la fertilité du sol*. 5 ed. Wageningue: Agromisa CTA. 86 p.

Scholl M., Voisard A., Peloux J.-P. *et al.* (1996). *SGBD Géographiques. Spécificités*. Paris: International Thomson Publishing France. 185 p.

Schulz M.-C., Vilain L. (2008). *Mettre en place des infrastructures agroécologiques (IAE) sur son exploitation agricole : pourquoi ? comment ? Outil d'aide à la décision pour la mise en place d'infrastructures agroécologiques (IAE) sur les exploitations agricoles*. Paris: France Nature Environnement. 34 p. (Rapport du Pôle ERR - Agriculture - Forêt).

Sébastien L., Brodhag C. (2004). A la recherche de la dimension sociale du développement durable. *Développement Durable et territoires*, dossier 3: Les dimensions humaine et sociale du Développement Durable. https://developpementdurable.revues.org/1133

Sebillotte M. (1974). Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers ORSTOM. Série Biologie*, n. 24, p. 3-25.

Sebillotte M., Soler L.-G. (1990). Les processus de decision des agriculteurs. Acquis et questions vives. In: Brossier J., Vissac B. (eds). *Modelisation systemique et systeme agraire. Decision et organisation*. Paris: INRA. p. 93-101. Seminaire du Departement de Recherches sur les Systemes Agraires et le Developpement, 1989/02/02-03, Saint-Maximin (France).

Séguy L., Husson O., Charpentier H. *et al.* (2009). Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. In: Husson O., Séguy L., Charpentier H. *et al. Manuel pratique du Semis direct sur Couverture Végétale permanence (SCV). Application à Madagascar*. Antananarivo: CIRAD-GSDM. p. 13-44.

Serpantié G. (2009). L'agriculture de conservation à la croisée des chemins en Afrique et à Madagascar. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, Décembre 2009, vol. 9, n. 3, p. 1-37.

Settle W., Soumaré M., Sarr M. *et al.* (2014). Reducing pesticide risks to farming communities: cotton farmer field schools in Mali. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 369, n. 1639, p. 1-11.

Sidot G., Moreau J.C., Guillaumin A. (2005). L'attente des éleveurs par rapport à l'évolution de leur métier et des conditions de travail. *Fourrages*, n. 181, p. 95-103.

Silici L. (2014). *Agroecology. What it is and what it has to offer*. Londres: IIED (International Institute for Environment and Development). 28 p. (Issue Paper).

Simon H.A. (1987). Making management decisions: the role of intuition and emotion. *The Academy of Management Executive*, vol. 1, n. 1, p. 57-64.

Sissoko F., Koulibaly B., Dagbenonbakin G.-D. *et al.* (2013). *Systeme de semis direct sous couverture végétale*. Brasília: Embrapa. 85 p.

SOLAGRO. (2006). *ECODIAG DIALECTE, manuel d'évaluation des impacts de l'exploitation sur son environnement*. Toulouse: SOLAGRO. 44 p. http://documents.cdrflorac.fr/Ecodiag_Dialecte.pdf

Soler L.G. (1989). Recherches en gestion et aide aux décisions des agriculteurs : perspectives et nouveaux enjeux. *Bulletin Technique d'Information - Ministère de l'Agriculture*, n. 440-441, p. 141-146.

Soubeyran E. (2014). *Réglementation et biocontrôle.* 27 p. Forum du Biocontrôle : une Filière d'Avenir pour Produire Autrement, 2014/04/22, Paris (France). http://www.croppp.org/IMG/pdf/Forum2-Reeglementation_cle0ceb13.pdf

Souris M. (2002). *La construction d'un système d'information géographique : principes et algorithmes du système Savane*. Thèse (Doctorat en Informatique): Université de La Rochelle, France. 497 p.

Spikkerud E., Haraldsen T., Abdellaue A. *et al.* (2004). *Pesticide risk Indicators for human health and the environment*. Norvège: Norwegian Food Safety Authority, National Centre of Plants and Vegetable Foods.

Stassart P.M., Baret P., Grégoire J.-C. *et al.* (2012). L'agroécologie : trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. In: Vandam D., Streith M., Nizet J. *et al. Agroécologie, entre pratiques et sciences sociales*. Dijon: Educagri. p. 25-51.

Stassart P.M., Jamar D. (2008). Steak up to the horns! *GeoJournal*, vol. 73, n. 1, p. 31-44.

Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arrats. (2015). *Dossier déclaration d'intérêt général : plan pluriannuel de gestion de l'Arrats 2016-2020*. 115 p.
http://www.gers.gouv.fr/content/download/17157/131188/file/Pages%201%20%C3%A0%20149.pdf

Tasei J.-N. (1996). Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n. 29, p. 9-18.

Terrier M. (2009). *Manuel de présentation de l'outil d'évaluation ex ante de la durabilité des systèmes d'activité des ménages agricoles pluriactifs dans l'Aude*. Montpellier: Supagro. 75 p. Etude du projet INTERSAMA.

Terrier M., Gasselin P., Le Blanc J. (2010). *Evaluer la durabilité des systèmes d'activités des ménages agricoles pour accompagner les projets d'installation en agriculture. La méthode EDAMA.* 14 p. ISDA 2010 : Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire, 2010/06/28-30, Montpellier (France).

Thakore Y. (2006). The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology*, vol. 2, n. 3, p. 194-208.

Theriault M., Claramunt C., Seguin A.-M. *et al.* (2002). Temporal CIS and statistical modelling of personal lifelines. In: Richardson D., Oosterom P.V. (eds). *Advances in Spatial Data Handling*. Berlin: Springer-Verlag. p. 433-449. 10. International Symposium on Spatial Data Handling, 2002/07/09-12, Ottawa (Canada).

Thomas S. (2009). *L'agritourisme : une opportunité de développement pour un territoire ? Le cas du territoire Valence Drôme Ardèche Centre*. Mémoire (Master 2 en Développement et Marketing des Territoires et des Aménagements Touristiques): Université Lumière-Lyon II, France. 164 p. + annexes.

Thompson H.M. (2010). Risk assessment for honey bees and pesticides - recent developments and 'new issues'. *Pest Management Science*, November 2010, vol. 66, n. 11, p. 1157-1162.

Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A. *et al.* (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, August 2002, vol. 418, n. 6898, p. 671-677.

Tixier P., Lavigne C., Alvarez S. *et al.* (2011). Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, February 2011, vol. 34, n. 2, p. 53-61.

Tizaoui C. (2004). Promotion de l'irrigation localisée dans le périmètre irrigué de la basse Moulouya au Maroc. In: Hammani A., Kuper M., Debbarh A. (eds). *Actes du séminaire Euro - Méditerranéen*. Rabat: IAV Hassan II. p. 1-11. (vol. 2). Séminaire Euro-Méditerranéen sur la Modernisation de l'Agriculture Irriguée, 2004/04/19-23, Rabat (Maroc).

Tompkins E.L., Adger W.N. (2004). Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecology and Society*, vol. 9, n. 2, p. 1-14.

Tournebize J. (2001). *Impacts de l'enherbement du vignoble alsacien sur le transfert des nitrates*. Thèse (Doctorat d'Université en Mécanique des Fluides): Université Louis Pasteur Strasbourg (France). 306 p.

Troy B. (2013). Gestion de l'eau agricole et sécurité alimentaire : de nouveaux défis pour les pays en développement. In: Club Déméter. *Déméter 2013 : économie et stratégies agricoles*. Paris: Club Déméter. p. 43-64.

Tucker R.B. (2001). Strategy innovation takes imagination. *Journal of Business Strategy*, vol. 22, n. 3, p. 23-27.

UNCED. (1992). *Agenda 21: programme of action for sustainable development, Rio Declaration on Environment and Development, statement of forest principles: the final text of agreements negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED).* New York: United Nations Department of Public Information. 294 p. Agenda 21. United Nations Conference on Environment & Development, 1992/06/3-14, Rio de Janerio (Brésil).

Uphoff N. (2007). Reducing the vulnerability of rural households through agroecological practice: considering the System of Rice Intensification (SRI). *Mondes en développement*, vol. 140, n. 4, p. 85-100.

Valantin-Morison M., Guichard L., Jeuffroy M.-H. (2008). Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique ? *Innovations agronomiques*, vol. 3, p. 27-41.

Vall E., Koutou M., Blanchard M. *et al.* (2012). Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux de l'Ouest du Burkina Faso, province du Tuy. In: Vall E., Andrieu N., Chia E. *et al.* (eds). *Partenariat, modélisation, expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?* Montpellier: CIRAD. p. 1-13. Séminaire du Dispositif de Recherche en Partenariat ASAP (Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest), 2011/11/15-17, Bobo Dioulasso (Burkina Faso).

Vanderpooten D. (2008). *Aide multicritère à la décision. Concepts, méthodes et perspectives.* 88 p. Conférence, 2008/09/11, Cachan (France). http://www.dptinfo.ens-cachan.fr/Conferences/vanderpooten.pdf

Veissier I., Botreau R. (2015). *L'évaluation du bien-être des animaux en ferme.* Colloque Internationnal LFDA: Le Bien-être Animal, de la Science au Droit, 2015/12/10-11, Paris (France).

Veissier I., Sarignac C., Capdeville J. (1999). Les méthodes d'appréciation du bien-être des animaux d'élevage. *Inra Productions Animales*, vol. 12, n. 2, p. 113-121.

Vericel G., Minette S. (2010). *Mieux gérer l'interculture pour un bénéfice agronomique et environnemental. Légumineuses, comment les utiliser comme cultures intermédiaires ?* (Dossier Technique Poitou-Charentes). http://www.poitou-charentes.chambagri.fr/fileadmin/publication/CRA/15_Innovation/Agronomie_pub/2012/2010_Dossier_technique_IC_-_Legumineuses.pdf

Vian J.-F. (2009). *Comparison of different tillage systems in organic farming: effect of soil structure and organic matter repartition on soil micro-organisms and their activities of carbon and nitrogen mineralization*. Thèse (Doctorat en Agronomie): AgroParisTech, France. 172 p.

Vilain L. (2008). *La méthode IDEA : indicateurs de durabilité des exploitations agricoles*. Dijon: Educagri. 184 p.

Villocel A., Boubée D., Lagardelle G. *et al.* (2010). Soutien des étiages dans le Sud-Ouest de la France. Outils de gestion équilibrée de la ressource en eau. *La Houille Blanche*, n. 5, p. 23-29.

Walker V. (2010). *Impact de l'inoculation de micro-organismes phytobénéfiques sur le métabolisme secondaire de Zea mays L.* Thèse de doctorat: Université Claude Bernard-Lyon I, France. 147 p.

Walliser B. (2008). *Économie et cognition*. Paris: Maison des Sciences de l'Homme. 264 p.

Waneukem V., Ganry F. (1992). Relations entre les formes d'azote organique du sol et l'azote absorbé par la plante dans un sol ferrallitique du Sénégal. *Cahiers ORSTOM. Séries Pédologie*, vol. 27, n. 1, p. 97-107.

Weber J. (2013). Gestion des ressources renouvelables : fondements théoriques d'un programme de recherche. In: Weber J. *Rendre possible*. Versailles: Quæ. p. 35-52.

Weeden C.R., Shelton A.M., Hoffman M.P. (2002). *Biological control: a guide to natural enemies in North America*. Cornell University. https://biocontrol.entomology.cornell.edu/index.php

Wezel A., Bellon S., Doré T. *et al.* (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, December 2009, vol. 29, n. 4, p. 503-515.

Wiliquet C. (2013). *L'agroécologie, une émancipation nourricière*. (Documents d'analyse et de réflexion). http://www.centreavec.be/site/sites/default/files/pdfs/L%E2%80%99agro%C3%A9cologie,%20une%20%C3%A9mancipation%20nourrici%C3%A8re.pdf

Willey R.W. (1979). Intercropping: its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstract*, vol. 32, n. 1, p. 1-10.

World Health Organization. (1990). *Public health impact of pesticides used in agriculture*. Genève: World Health Organization. 128 p.

Zahm F., Ugaglia A.A., Boureau H. *et al.* (2015). Agriculture et exploitation agricole durables : état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innovations Agronomiques*, vol. 46, p. 105-125.

Zahm F., Vernier F., Saudubray F. *et al.* (2007a). *Evaluation des modules «eaux de surface» de quatre indicateurs phytosanitaires (ADSCOR, EIQ, EPRIP, I-PHY) en bassin viticole. Premiers résultats issus d'un test appliqué aux pratiques phytosanitaires du bassin du Ruiné (Charente).* 12 p. 37. Congrès du Group Français des Pesticides (GFP), 2007/05/15-18, Bordeaux (France).

Zahm F., Viaux P., Girardin P. *et al.* (2007b). Farm sustainability assessment using the IDEA method : from the concept of farm sustainability to case studies on French farms. In: Häni F.J., Pintér L., Herren H.R. (eds). *Sustainable agriculture: from common principles to common practice*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development. p. 77-110. International Forum on Assessing Sustainability in Agriculture (INFASA), 2006/03/16-17, Berne (Suisse).

Zahm F., Viaux P., Vilain L. *et al.* (2004). *La méthode IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles) : une méthode de diagnostic pour passer du concept de durabilité à son évaluation à partir d'indicateurs.* 14 p. PEER Conférence, 2004/11/17-18, Helsinki (Finlande).

Zakwan K. (2007). *Contribution à l'étude des méthodes quantitatives d'aide à la décision – appliquées aux indices du marché d'actions*. Thèse (Doctorat en Sciences de Gestion): Université Montesquieu - Bordeaux IV, France. 351 p.

ZBA. (2006). *Agrotourisme : diagnostic sectoriel / plan de développement et de commercialisation. Rapport d'analyse de la situation et diagnostic sectoriel (version finale)*. Québec: ZBA (Zins Beauchesne et Associés). 181 p. http://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/media/document/etudes-statistiques/AgroDiagnoPlan.pdf

Zhang W., Ricketts T.-H., Kremen C. *et al.* (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, vol. 64, n. 2, p. 253-260.

Zoundi J.S., Hitimana L., Hussein K. (2005). *Economie familiale et innovation agricole en Afrique de l'Ouest : vers de nouveaux partenariats. Document de synthèse*. Issy-les-Moulineaux: OCDE. 106 p.

ANNEXES

Annexe 1. Matrice objectifs & techniques agricoles (Trabelsi 2014) 250
Annexe 2. Caractéristiques des techniques et/ou actions agricoles et leur contribution dans la réalisation des objectifs 255
Annexe 3. Extrait de la matrice 2 : techniques agricoles & outils, moyens et caractéristiques de leur mise en œuvre (Trabelsi 2014) 271
Annexe 4. Matrice techniques agricoles & impacts (Trabelsi 2014) 273
Annexe 5. Indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) & Paramètres (Trabelsi 2015) 281
Annexe 6. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des modes et systèmes de production, et productions agricoles (Trabelsi 2015) 286
Annexe 7. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des niveaux Exploitation et Parcelle (Trabelsi 2015) 289
Annexe 8. Equations des indicateurs au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 295
Annexe 9. Equations des indicateurs au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 300
Annexe 10. Modes d'identification des paramètres des indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) (Trabelsi 2015) 301
Annexe 11. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 306
Annexe 12. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 316
Annexe 13. Grille de notation des indicateurs économiques (Trabelsi 2015) 318
Annexe 14. Grille de notation des IRTE et IRSA pondérés/ha (Trabelsi 2015) 320
Annexe 15. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques, IRTE et IRSA) au niveau "Exploitation" (Trabelsi 2015) 321
Annexe 16. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques) au niveau "Parcelle" (Trabelsi 2015) 325
Annexe 17. Questionnaire d'enquêtes (Trabelsi 2015-2016) 326
Annexe 18. Besoin en éléments (exportations) N, P, K des différentes cultures pour le calcul du bilan CORPEN 334
Annexe 19. Extrait de la base de données générale (données de l'exploitation 1) (Enquêtes de terrain 2015 -2016) 336
Annexe 20. Caractéristiques des parcelles culturales 338
Annexe 20.1. Carte des types de sols des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 338
Annexe 20.2. Carte de répartition des parcelles culturales irrigables et non irrigables (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 339
Annexe 20.3. Carte des pentes des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 340
Annexe 20.4. Carte de classification des IFT pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 341
Annexe 20.5. Carte de classification des IRTE pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 342
Annexe 20.6. Carte de classification des IRSA pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016) 343
Annexe 21. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" (Résultats de calcul 2015-2016) 344
Annexe 22. Les exploitations agricoles les plus performantes par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015-2016) 348
Annexe 23. Cartes des performances globales des exploitations agricoles (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016) (Réalisation Trabelsi 2016) 349

Annexe 1. Matrice objectifs & techniques agricoles (Trabelsi, 2014)

Objectifs / Techniques agricoles	Diminuer la pollution des eaux et des sols	Améliorer la fertilité des sols	Améliorer l'efficience de la fertilisation azotée	Limiter l'érosion et le ruissellement	Préserver la ressource en eau	Conserver et améliorer la qualité de l'air	Préserver les ressources énergétiques	Lutter contre les adventices	Lutter contre les ravageurs	Conserver la biodiversité et les ressources territoriales	Conserver le bien-être animal	Améliorer la sécurité nutritionnelle des produits	Renforcer l'implication sociale	Diminuer l'intensité et la pénibilité du travail
Utilisation du cuivre et/ou du soufre	X								X					
Utilisation des pesticides chimiques	X	X						X	X	X	X	X		
Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio)	X	X						X	X	X	X	X		
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	X	X	X					X	X		X	X		
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	X	X						X	X			X		
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique		X						X	X			X		
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale			X											
Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures			X											
Stockage et traitement des eaux usées	X													
Stockage et traitement des effluents d'élevage	X													
Recyclage des déchets	X													

Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	X	X	X	X		X		X		X	X			
Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture) OU Enherbement	X	X		X	X			X	X	X				X
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	X	X		X				X	X		X	X		
Mise en place des infrastructures agroécologiques	X	X		X					X	X	X			
Rotation des cultures	X	X	X	X				X	X	X				
Intégration des plantes de coupure dans la rotation	X	X		X					X	X				
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel		X		X		X	X							X
Mise en place d'un système agroforestier		X		X	X	X		X	X	X	X			
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)		X		X		X	X	X						X
Assolement des cultures		X	X	X				X	X	X				
Dimension moyenne des parcelles				X						X				X
Mise en place des infrastructures antiérosives				X										
Diversité végétale		X		X				X	X	X	X			

Objectifs / Techniques agricoles	Diminuer la pollution des eaux et des sols	Améliorer la fertilité des sols	Améliorer l'efficience de la fertilisation azotée	Limiter l'érosion et le ruissellement	Préserver la ressource en eau	Conserver et améliorer la qualité de l'air	Préserver les ressources énergétiques	Lutter contre les adventices	Lutter contre les ravageurs	Conserver la biodiversité et les ressources territoriales	Conserver le bien-être animal	Améliorer la sécurité nutritionnelle des produits	Renforcer l'implication sociale	Diminuer l'intensité et la pénibilité du travail
Alternance fauche-pâture		X						X		X				
Association des cultures dans la même parcelle		X						X	X	X				
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique					X		X							
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie					X									
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse					X									
Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation					X									
Production de l'énergie renouvelable							X							
Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation							X							
Utilisation de la lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle									X	X				
Diversité animale										X				
Présence des espèces végétales anciennes										X				

Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition										X				
Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition										X				
Intégration des plantes mellifères									X	X				
Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux agresseurs des cultures								X	X			X		
Utilisation de faux-semis								X	X					
Adaptation de la date de semis et/ou de plantation et de la densité de la végétation								X	X					
Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, le piégeage massif...)									X					
Utilisation des barrières physiques									X					
Utilisation de la solarisation								X	X					
Protection des pâturages											X			

Objectifs / Techniques agricoles	Diminuer la pollution des eaux et des sols	Améliorer la fertilité des sols	Améliorer l'efficience de la fertilisation azotée	Limiter l'érosion et le ruissellement	Préserver la ressource en eau	Conserver et améliorer la qualité de l'air	Préserver les ressources énergétiques	Lutter contre les adventices	Lutter contre les ravageurs	Conserver la biodiversité et les ressources territoriales	Conserver le bien-être animal	Améliorer la sécurité nutritionnelle des produits	Renforcer l'implication sociale	Diminuer l'intensité et la pénibilité du travail
Garantie le confort des bâtiments											X			
Préservation préventive de la santé des animaux											X	X		
Maintien de l'autonomie alimentaire											X	X		
Renforcement de la communication entre agriculteurs													X	
Intégration dans des structures associatives													X	
Embauche de la main d'œuvre													X	
Développement de l'agrotourisme													X	
Développement de la vente directe													X	
Ouverture de la ferme à la visite, à l'accueil des stagiaires et à la formation													X	
Participation dans des organisations de conseil agricole													X	
Transformation des produits sur l'exploitation													X	
Diversification des débouchés de vente													X	
Diversification des clients													X	
Diminution du rythme de travail														X

Annexe 2. Caractéristiques des techniques et/ou actions agricoles et leur contribution dans la réalisation des objectifs

Le traitement et le stockage des eaux usées et des effluents liquides de l'élevage ainsi que le recyclage des déchets non organiques sont des actions permettant de diminuer la pollution des eaux et des sols. Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine (Rejsek, 2002). Elles contiennent *i)* de la matière organique issue des déjections humaines ou animales et qui constitue une source de trois polluants majeurs des cours d'eau: le carbone, le phosphore et les nitrates, et *ii)* des résidus de produits nettoyants domestiques et agricoles qui sont constitués de milliers de produits chimiques aux formes variées (Balty *et al.*, 2013). Face aux pressions croissantes sur la ressource en eau, la réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole, qui constitue une alternative aux prélèvements traditionnels, commence à se développer progressivement. La réutilisation des eaux usées traitées est concernée par l'ensemble des équipements associés au traitement, au transport, au stockage et à la distribution. Or, ces équipements représentent des investissements importants pour l'agriculteur. C'est pour cette raison que les projets de traitement et de stockage des eaux usées sont souvent des projets collectifs menés à l'échelle territoriale. Les eaux usées sont traitées dans une station de traitement ou d'épuration et stockées dans des réservoirs de stockage (une cuve, une citerne, un bassin…).

Un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles peut être entrainé par une forte concentration des élevages. Sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, cet excédent, riche en dérivés azotés, peut atteindre les cours d'eau et les nappes phréatiques souterraines en entrainant ainsi une pollution bactériologique. Confrontée à cette problématique environnementale, le Code de l'Environnement (Article R211-48) a interdit tout déversement direct des effluents d'exploitations agricoles dans le milieu naturel. Dès lors, les éleveurs ont mis en œuvre des procédés de traitement et de stockage des effluents liquides (lisier, purin, lixiviat…) afin de limiter les rejets vers le milieu extérieur. Les effluents traités peuvent être stockés dans une fosse pour être épandus ensuite sur les parcelles cultivées en respectant la réglementation en vigueur (Règlement Sanitaire Départemental, zone vulnérable…). En effet, ces produits sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes (Chambre d'Agriculture Loir-et-Cher, 2012).

La gestion des déchets organiques et non organiques apparaît comme une composante essentielle du développement durable. Comme toute activité, l'activité agricole génère différents types de déchets. Ils sont liés à l'usage et l'entretien du matériel agricole (batteries…), à la fertilisation et protection des cultures (emballages…), ils peuvent être issus du bâtiment ou spécifiques à l'activité d'élevage (déchets d'activité de soins, bâches d'ensilage, déjections animales…) ou des résidus agricoles et des déchets verts non ligneux des collectivités (tontes de gazon). Les exploitations agricoles doivent avoir la responsabilité directe de la gestion et de l'élimination de leurs déchets dans des conditions requises. D'après le Règlement Sanitaire Départemental type 2004, l'enfouissement, le brûlage et déversement dans le milieu naturel sont strictement interdits. Les agriculteurs peuvent recycler ou traiter les déchets organiques (déjections animales, résidus agricoles, etc.) afin d'obtenir des produits utilisables sur l'exploitation comme la fabrication de compost et la méthanisation. La méthanisation est un processus naturel de dégradation biologique de la matière organique qui produit un gaz, appelé « biogaz », composé principalement de méthane (de 50 à 70%). Ce gaz peut être utilisé pour produire de l'électricité ou de chaleur sur l'exploitation. Comme ils peuvent également déposer leurs déchets non organiques dans des sites destinés aux opérations de collecte, et doivent justifier de l'élimination de

leurs déchets dans le respect de la réglementation lors des contrôles (bonnes pratiques, cahier des charges de production, certification, etc.) (Hess, 2007; Lefebvre, 2008). On distingue deux catégories de déchets non organiques [43]: les déchets dangereux (huiles usagées, batteries, produits phytosanitaires non utilisables, etc.) qui entrainent la pollution de l'environnement et les déchets non dangereux (bétons, tuiles, etc.) qui ne se décomposent pas et ne brûlent pas.

De nombreux producteurs utilisent le cuivre et/ou le soufre pour gérer les maladies cryptogamiques et bactériennes. Mais cette utilisation peut entrainer la pollution des eaux et des sols. En effet, avec des doses excessives ces deux produits deviennent toxiques. Le cuivre est essentiellement un traitement d'hiver et de pré floraison, il est présent dans des insecticides, des bactéricides, des herbicides, des fongicides (anti-mildiou) (oxyde cuivreux et cuivrique, acétate de cuivre et sulfate de cuivre), la bouillie bordelaise (sulfate de cuivre avec de l'hydroxyde de calcium) et la bouillie bourguignonne (sulfate de cuivre avec du carbonate de sodium). Son utilisation en traitement d'été est limitée car il est toxique pour un grand nombre de plantes et peut causer de graves brûlures du feuillage[44]. Dans les sols, la majorité du cuivre se trouve sous formes insolubles, non biodégradables ce qui va accélérer son accumulation en entrainant des effets négatifs sur les vers de terre et les micro-organismes. Le cuivre est classé indésirable dans les eaux potables et les eaux souterraines. Il est toxique pour les poissons ainsi que pour les autres organismes aquatiques (Association Environnement-Industrie, 2013; Hlavackova, 2005). Le soufre est une substance naturelle utilisée principalement contre l'oïdium. Elle agit également contre les acariens (araignée rouge) et la tavelure. Contrairement au cuivre, le soufre n'est pas phytotoxique à condition de l'utiliser quand la température est inférieure à 30°C. En revanche, à forte dose, il peut causer des dommages à la faune auxiliaire, entre autres acariens prédateurs et larves de coccinelles, et au sol en augmentant son acidité (Association Environnement-Industrie, 2013). Vu leurs effets nuisibles, le cuivre et le soufre, produits autorisés pour l'agriculture biologique, vont être règlementés prochainement.

Les biopesticides sont des produits de protection des plantes d'origine biologique qui peut être un organisme vivant (bactéries, virus, champignons, etc.) ou une substance biologique d'origine naturelle (huiles végétales, bouillie bordelaise, extraits végétaux, etc.). En effet, ils sont définis comme des « *organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de limiter ou de supprimer les ennemis des cultures* » (Thakore, 2006). Ils peuvent être classés en trois grandes catégories en fonction de leur nature: les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Leng *et al.*, 2011). Le traitement des cultures avec des biopesticides afin de contrôler les ravageurs et les adventices peut générer plusieurs points positifs: la préservation de la santé humaine en éliminant l'utilisation d'insecticides chimiques, la diminution de la pollution des eaux et des sols grâce à leur dégradation rapide, l'amélioration de la fertilité des sols, la préservation de la biodiversité, la conservation du bien-être animal et la garantie d'une sécurité nutritionnelle des produits en offrant des produits sains (Rochefort *et al.*, 2006). En effet, pendant plusieurs années, les rendements agricoles ont enregistré des accroissements considérables grâce au recours aux pesticides chimiques pour lutter contre les ravageurs et les adventices des cultures. Cependant aujourd'hui, avec un peu de recul, le contexte a changé. Plusieurs études montrent les impacts négatifs des pesticides sur l'environnement et la santé humaine: des maladies cancérigènes et endocriniennes; des résidus dans les aliments (les pesticides peuvent être stockés dans les organismes vivants et s'accumuler à travers le temps en s'associant aux graisses ou à l'eau) (MCE, 2003); la pollution diffuse des eaux de surface et

[43] *http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/ex_87_88_89_90_91_apca_dechets_organiques.pdf*

[44]Opération « Pesticides, on peut faire autrement » Actions sur les usages non agricoles. Guide du Jardinage Ecologique Alternatives aux Pesticides pour les Particuliers. *http://www.echo-mer.com/jardinage-ecologique.pdf*

souterraines; l'accumulation toxique dans les sols (la persistance des pesticides dans le sol augmente leur accumulation et ils auront plus d'occasions d'aller contaminer les nappes) (Barriuso *et al.*, 1996); la diminution de la fertilité des sols (la présence des pesticides influence directement la microfaune du sol en altérant son activité, son comportement, sa multiplication ainsi que son métabolisme, et affecte les processus naturels de décomposition de la matière organique) (Adigoun, 2002) et la dégradation de la biodiversité (faune et flore). Tous les pesticides peuvent perturber les insectes pollinisateurs mais ce sont les insecticides qui sont les plus fortement impliqués dans les dommages imposés à la faune pollinisatrice. Les insecticides sont également suspecter être responsables de la disparition de lichens (Tasei, 1996).

Une gestion raisonnée de la fumure azotée peut offrir une fertilisation azotée efficace, une diminution de la pollution des eaux et des sols par les nitrates, une amélioration de la fertilité des sols, une lutte contre les ravageurs et les adventices, une conservation du bien-être animal et une garantie d'une sécurité nutritionnelle des produits agricoles. En effet, l'azote, un macro-élément essentiel pour la plante, joue un rôle important à la fois sur le rendement et sur la qualité des productions agricoles. En effet, l'utilisation de l'azote peut doubler et même tripler les rendements des cultures, il est un élément essentiel de la matière vivante de la plante (protéines, chlorophylle, enzymes…). Sans apport d'engrais azotés, les pertes de rendement de plusieurs grandes cultures peuvent atteindre 90 % de la production maximale. L'azote est pratiquement le seul élément nutritif absorbé par la plante en plus grande quantité au cours de sa croissance. Il est absorbé sous forme minérale et préférentiellement sous forme nitrate en stimulant la photosynthèse et donc la production de biomasse et transformé dans la plante en acides aminés puis en protéines indispensables pour l'alimentation humaine et animale. A titre d'exemple, la qualité et la teneur en protéines du blé dépendent d'une alimentation maîtrisée en azote. Les fournitures d'azote minéral par le sol sont souvent insuffisantes pour satisfaire les besoins des plantes, l'agriculteur doit apporter des fertilisants minéraux et/ou organiques pour ajuster ces besoins. Une gestion raisonnée de la fertilisation azotée consiste à ajuster les besoins de la culture en azote, donc les apports d'azote par l'azote disponible constitué des fournitures du sol, des déjections animales et des fertilisants. La quantité d'azote nécessaire à apporter peut être calculée en utilisant la méthode du bilan prévisionnel[45]. Pour améliorer donc l'efficacité de l'azote minéral, il est important de connaitre la quantité à apporter à la culture afin de réduire le risque de transfert des nitrates vers les cours d'eau (COMIFER, 2013; Delcour *et al.*, 2013). Un excès d'azote peut entrainer une acidification du sol et favoriser le développement d'un certain nombre de bioagresseurs. Effectivement, l'excès des apports azotés entraine un développement d'un feuillage dense de la culture favorisant un microclimat humide convenable au développement des maladies et à la transmission des ravageurs. Cet excès sera exploité par les adventices, ce qui va stimuler leur accroissement[46]. Les plantes ressemblent aux humains, elles ont besoin d'un régime alimentaire équilibré. Une fumure azotée excessive et déséquilibrée appliquée sur une culture de céréales ou de riz pourrait être à l'origine d'une augmentation de la sensibilité à la verse, d'une intensification de la concurrence avec les adventices et les attaques par les ravageurs et d'une perte de la production (FAO, 2003).

Une gestion raisonnée de la fumure phosphatée diminue la pollution des eaux et des sols, améliore la fertilité des sols, contrôle les ravageurs et les adventices et garantie une sécurité nutritionnelle des produits agricoles. Le phosphore fait partie des macro-éléments nutritifs indispensables à la plante.

[45] Le raisonnement de la fertilisation azotée est fondé sur la méthode du bilan prévisionnel pour les cultures annuelles (COMIFER) entre les besoins de la culture et les fournitures de l'azote minéral.

[46] *Ecophyto ;* Fertilisation azotée. *http://www.ecophytopic.fr/tr/pr%C3%A9vention-prophylaxie/pratiques-agronomiques/fertilisation-raisonn%C3%A9e*

S'il est abondant dans le sol, la plante pousse bien et donne des rendements élevés, dans le cas contraire, la croissance de celle-ci est limitée et ses rendements réduits. Afin de garantir des bons rendements de qualité, il faut donc fournir aux cultures la quantité de phosphore dont le sol n'est pas suffisamment pourvu. Le phosphore est indispensable au transfert d'énergie, à la photosynthèse, à la différenciation cellulaire et au développement des jeunes tissus à partir desquels se fait la croissance de la plante. La majorité des sols cultivés ou non cultivés ne sont pas riches en phosphore. Cette carence reflète son absence ou sa biodisponibilité limitée suite à sa fixation élevée sur d'autres éléments du sol : les minéraux argileux et la matière organique (FAO, 2003). L'utilisation excessive des fertilisants phosphatés peut avoir un ou plusieurs impacts négatifs sur l'environnement. En effet, une accumulation à long terme du phosphore dans le sol peut être générée suite à des apports continus d'engrais phosphatés. Cette accumulation se traduit par la saturation du sol en phosphore, ce qui va jouer sur les propriétés du sol et accroitre le risque de lessivage en profondeur. Le phosphore est donc transféré vers les nappes et les cours d'eau. La présence du phosphore, même en concentration faible, dans les eaux de surface constitue le premier facteur limitant de la masse végétale aquatique. De grandes quantités de phosphore dans l'eau stimulent la production des algues surtout au printemps. Cette production va consommer alors la plus grande partie des nitrates dissous, ce qui va entrainer la prolifération des cyanobactéries fixatrices d'azote de l'air. Ces cyanobactéries sont toxiques pour le milieu et finissent par l'envahir. L'oxygène dissous est consommé et le mécanisme de l'eutrophisation s'enclenche. L'eutrophisation entraîne une dégradation des milieux aquatiques et une réduction de la biodiversité. Par conséquent, et comme l'azote, la fertilisation phosphaté doit être équilibrée pour être efficace. Il est nécessaire d'ajuster les besoins de la culture en phosphore avec ses fournitures afin d'éviter tout problème de pollution. Certaines carences ont parfois des incidences sur l'état sanitaire de la plante. L'absence ou la défaillance d'un élément nutritif, comme le phosphore, contribuera à l'affaiblissement de la plante et l'apparition de carences, elle devient plus sensible aux attaques des ravageurs, donc aux maladies et aux adventices. Pour cela, il faut placer les cultures dans un sol correctement équilibré en phosphore pour favoriser au maximum leur développement vigoureux (Beaudin, 2006; Chevassus-au-Louis *et al.*, 2012).

Une gestion raisonnée de la fumure potassique permet d'améliorer la fertilité des sols, lutter contre les ravageurs et les adventices, et assurer une sécurité nutritionnelle des produits agricoles. Le potassium est un macro-élément nutritif indispensable à la plante. Très mobile dans la plante, il y joue un rôle multiple: il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules, il permet de régulariser les échanges intracellulaires, il active la photosynthèse, il favorise la formation des glucides dans la feuille et leur accumulation dans les organes de réserve, il participe à la formation des protéines, il intervient dans les processus d'évolution des composés azotés dans la plante, il améliore son régime hydrique et accroît sa tolérance à la sécheresse, au froid, au gel et à la salinité. Toutes ces fonctions permettent d'avoir un rendement meilleur en quantité et en qualité. Une bonne fertilisation potassique permet de diminuer la sensibilité des plantes aux maladies et aux insectes en améliorant leur résistance (Ben Mimoun, 2002; FAO, 2003).

Une fertilisation azotée, phosphatée et potassique équilibrée signifie donc un approvisionnement qui tient compte des réserves du sol et des besoins de la plante pour réaliser les rendements envisagés. Elle permet d'avoir des produits agricoles de bonne qualité, riches en éléments nutritifs, sains et équilibrés. Des carences au niveau de ces trois éléments se traduisent souvent par une qualité médiocre, parfois non commercialisable, des produits agricoles et par une sensibilité des plantes aux maladies et aux ravageurs. L'azote est naturellement présent dans le sol, mais c'est le seul élément minéral qui ne provient pas de la roche mère. L'alimentation azotée des cultures se fait principalement à partir des

réserves d'azote organique dans le sol. Or, généralement ces réserves sont très faibles et constituent un facteur limitant de la production végétale. Dans le cadre d'une gestion raisonnée de l'alimentation azotée, il est donc nécessaire de veiller à la bonne fertilisation en apportant des engrais azotés en situation de carence (Guilbault, 2011; Waneukem, Ganry, 1992). Afin d'avoir une fertilisation azotée efficace et limiter le transfert des nitrates, il est conseillé de faire une analyse de l'azote minéral dans le sol en début de culture ou de campagne et de fractionner la quantité à apporter en fonction des besoins de la culture.

Les Techniques Culturales Simplifiées sont des techniques de travail superficiel du sol. Les outils utilisés ne travaillent le sol qu'à faible profondeur (moins de 10 cm). Or, on peut supprimer totalement tout travail de sol en gardant en permanence un couvert végétal: c'est le semis direct sous couvert, aussi appelé agriculture de conservation. Un sol non travaillé ou travaillé superficiellement offre une meilleure fertilité du sol, une réduction de l'érosion et du ruissellement, une amélioration de la qualité de l'air, une préservation de l'énergie et une diminution de l'intensité et de la pénibilité du travail. La fertilité du sol désigne sa capacité à produire durablement des récoltes de qualité. Elle résulte d'interactions complexes entre l'état de fertilité physique (la structure et les agrégats), chimique (l'acidité mesurée par le pH et les éléments nutritifs) et biologique (la matière organique, la faune et les microorganismes). Il est donc primordial de conserver la durabilité de ces interactions. La réduction du travail du sol entraine une amélioration au niveau de ses propriétés physiques. Si on ne travaille pas le sol, on stimule donc la concentration de débris et des matières organiques stables en surface. Ces derniers vont participer à la protection du sol contre les agressions (pluies, vent, trafic, piétinement…). Un travail superficiel sans retournement permet de préparer le lit de semences et désherber mécaniquement tout en conservant au maximum la structure du sol. Il permet également de conserver une activité microbiologique non perturbée par des interventions mécaniques profondes et/ou répétées. Un couvert permanent (semis direct sous couvert) et une meilleure structure du sol entrainent une limitation du risque d'érosion et du ruissellement. Le labour demande beaucoup d'énergie (consommation de fuel) et du temps de travail, un travail superficiel ou un semis direct diminue donc cette demande. Une diminution de la consommation d'énergie réduit l'émission de CO_2, donc la pollution de l'air (Altieri, 1999; Chevrier, Barbier, 2002; Peigné *et al.*, 2009; Vian, 2009).

Adapter la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive) ainsi que sa densité permet de lutter efficacement contre les adventices et les ravageurs des cultures. En effet, raisonner les caractéristiques d'un semis en cohérence avec les caractéristiques pédoclimatiques, le choix variétal et les risques sanitaires permet de limiter l'apparition des maladies et ravageurs sur la culture. Chaque culture favorise le développement des espèces adventices dont le cycle de reproduction s'inscrit le mieux dans le cycle cultural. Par conséquent, un semis tardif ou précoce des cultures de la rotation permet de perturber les cycles de développement des adventices. Par exemple en céréales à paille, un décalage de la date de semis limite les levées des graminées automnales (vulpins, bromes, ray-grass…) et d'autres plantes (coquelicots, capselles…). Il permet d'avoir aussi un développement de la céréale en dehors des pics d'activité de certains ravageurs (pucerons, cicadelles…). D'après ARVALIS - Institut du végétal, un décalage de 15 jours par rapport à un semis de fin septembre peut réduire de plus de 70 % l'infestation. Aussi sur des semis précoces des trois premières semaines d'octobre, un décalage de 10 jours par rapport à un semis classique peut limiter de moitié l'infestation de vulpins en non-labour comme en labour. Cependant, il faut bien choisir la variété adaptée et la date de semis tardive, car elle peut influencer le potentiel de rendement de la culture surtout en présence des terres lourdes et hydromorphes (diminution de -2 à - 4 q/ha en moyenne): plus la date de semis est retardée, plus le nombre de jours disponibles pour semer est réduit. L'adaptation de la date de semis gagne à être

couplée avec la technique du faux-semis. Certains agriculteurs ont tendance à augmenter la densité de semis pour compenser les pertes à la levée surtout dans le cas d'un semis tardif et le manque de tallage lié au décalage de la date de semis. Une densité de semis importante permet de lutter contre les adventices. A densité élevée, les cultures peuvent couvrir le sol plus rapidement et priver les adventices de lumière. Réparties de façon plus homogène, leurs racines peuvent tirer davantage profit de l'eau et des nutriments. En revanche, une densité de semis élevée permet également de réduire la distance entre les végétaux et de favoriser donc des conditions favorables pour le développement des ravageurs: facilité de passage de pathogènes de plante en plante, baisse de l'intensité lumineuse, conditions d'humidité plus importantes, etc. Les semis denses augmentent les risques de verse et de maladies cryptogamiques (piétin-verse, oïdium, etc.) et le coût de la semence. Reste donc à trouver le bon compromis (Beavers *et al.*, 2008; Valantin-Morison *et al.*, 2008).

Les prairies sont un capital à préserver et/ou à reconstituer. En effet, les prairies, qu'elles soient temporaires ou permanentes, sont à l'origine d'une grande autonomie alimentaire des exploitations et d'une qualité des paysages. Il est primordial de faire attention au mode d'exploitation de la prairie pour éviter sa dégradation et maintenir sa qualité. La dégradation d'une prairie se traduit par une modification de sa composition botanique et/ou par l'apparition de vides dans le couvert végétal. Plusieurs facteurs, isolés ou associés, peuvent influencer les équilibres entre espèces végétales et causer cette dégradation comme le surpâturage, la surcharge des animaux, les adventices et le piétinement. Le pâturage reste le principal mode de valorisation des prairies. La prairie pâturée présente des coûts de production inférieurs aux cultures fourragères stockées, surtout lorsqu'il s'agit d'une association non exigeante en azote. Mais, l'alternance fauche-pâture reste aussi une technique bénéfique pour la qualité de la prairie. Elle améliore la structure du sol ainsi que sa morphologie, réduit l'apparition des adventices en perturbant leurs cycles de développement et améliore la biodiversité en évitant le surpâturage qui dégrade la flore et en attirant les oiseaux, les pollinisateurs et parfois les prédateurs d'insectes. En effet, selon que la prairie est fauchée ou pâturée, une végétation spécifique pourra s'y développer. La fauche permettra le maintien d'un couvert végétal "haut" au printemps qui apporte un abri pour les petits mammifères. Le pâturage favorise une biodiversité spécifique sur les parcelles par la présence des animaux et des bouses qui attirent plusieurs invertébrés dont les oiseaux s'en nourrissent (Hauteclair, 2010; Hubert, Pierre, 2004).

Associer des cultures différentes dans la même parcelle est une application pratique des principes de l'agroécologie permettant de valoriser les ressources naturelles et de réguler les facteurs biotiques. En effet, associer des cultures dans la même parcelle c'est améliorer la fertilité des sols, contrôler les adventices, les maladies et améliorer la biodiversité. La concurrence et la complémentarité entre les cultures associées et sélectionnées de façon adéquate soutiennent les cycles des éléments nutritifs dans le sol et améliorent la stabilité générale du système en permettant ainsi un maintien de la structure et de la fertilité du sol et une résistance efficace contre les ravageurs, maladies et mauvaises herbes. Les prédateurs des insectes ravageurs sont plus abondants dans les peuplements denses, ils peuvent bénéficier de sources de proies alternatives ainsi que de nectar et de pollen. L'augmentation du nombre de cultures permet de disperser (dans le temps et l'espace) les niches écologiques possibles pour les plantes adventices, parfois hautement compétitives, et donc de diminuer les risques de leur apparition (Barberi, 2003). Deux mécanismes permettent de réduire la densité des adventices: la germination des graines d'adventices qui est freinée par un recouvrement rapide et uniforme du sol en jouant sur la qualité de la lumière (la fraction rouge de la lumière favorisant la germination est absorbée par les feuilles) (Baldy, Stigter, 1993; Liebman, Dyck, 1993) et la croissance des adventices

qui est limitée par les cultures associées en diminuant leur accès aux ressources (Liebman, Dyck, 1993).

L'assolement se définit comme la répartition spatiale des cultures dans un espace donné. Il consiste à diviser les terres d'une exploitation agricole en parties distinctes, appelées "soles" en fonction de leurs capacités de production. Chaque sole est entièrement consacrée à un seul type de culture (ou à la jachère) pour une saison culturale. Dans chaque sole, les cultures peuvent changer d'une année à l'autre: c'est la rotation qui est une notion différente. L'assolement est *« la diversité géographique des cultures à un moment donné »* alors que la rotation est *« la succession des cultures sur une même parcelle au fil du temps »* (Aboudrare, 2009; Leterme, 2012). Dans l'assolement, le choix des cultures dépend de leurs rentabilités, leurs adaptations aux conditions pédoclimatiques et de leurs exigences en matière de conduite technique. L'assolement contribue *i)* à la préservation et l'amélioration de la fertilité des sols en limitant la dégradation de leurs qualités physico-chimiques (par exemple la diversité des cultures permet aux racines d'explorer différents horizons du sol et de favoriser son aération) et leur exposition à l'érosion, *ii)* à la préservation de la ressource en eau en favorisant l'infiltration des eaux de pluie et en diminuant le ruissellement, *iii)* au contrôle des ravageurs et mauvaises herbes. Chaque culture attire des ravageurs et des maladies déterminés. Si on cultive la même culture au même endroit saison après saison, les nutriments dont la plante a besoin s'épuisent rapidement, les plantes s'affaiblissent et seront bientôt attaquées par les ravageurs et maladies, *iv)* à l'efficience de la fertilisation azotée en intégrant des légumineuses dans l'assolement et en limitant les pertes d'azote par lessivage et dénitrification suite à l'amélioration de la structure et le bon fonctionnement biologique du sol, et *v)* à l'amélioration de la biodiversité en diversifiant les cultures et les variétés (Aboudrare, 2009; Balzeau, 2014).

La rotation des cultures exige que toute parcelle soit couverte par trois cultures différentes au minimum sur trois ans, incluant notamment des plantes fixatrices de l'azote atmosphérique (légumineuses), un point sur lequel s'accordent de nombreuses institutions et experts internationaux. L'alternance ordonnée et répétée de plusieurs cultures de différentes familles sur une même parcelle et sur de longues durées permet d'améliorer la fertilité et la structure du sol et de maintenir son équilibre chimique par des apports humifères et minéraux variés, et donc de réduire l'érosion. Dans une rotation, les cultures appartiennent à différentes familles à enracinements variés. Ces cultures exploitent le sol de manières différentes, certaines sont à enracinement superficiel et d'autres à enracinement profond ce qui permet d'exploiter les différentes couches du sol et de récupérer éventuellement les éléments nutritifs en cours de lessivage. Ceci amène donc à améliorer l'efficience de la fertilisation azotée et à réduire le risque de fuite de nitrates dans les nappes d'eau et de pollution. La rotation permet également de réduire le développement des maladies et des ravageurs en perturbant leurs cycles et empêchant la sélection d'un certain type de flore et de lutter contre le ruissellement et la dégradation de la biodiversité en couvrant le sol par différentes cultures (Aboudrare, 2009; Bonte, 2010).

Une couverture morte ou vivante doit être maintenue en permanence sur le sol. Plusieurs types de plantes de couverture peuvent être utilisés (des graminées et/ou des légumineuses) et le choix dépend de l'usage que l'agriculteur veut faire de la biomasse. Le maintien d'un couvert végétal d'une façon permanente joue un rôle très important dans la gestion de l'eau, la diminution de la pollution, l'amélioration de la fertilité du sol, la réduction de l'érosion et du ruissellement, la lutte contre les mauvaises herbes et les maladies des cultures, la préservation de la biodiversité et la diminution de l'intensité du travail. Le couvert végétal permanent permet de protéger le sol contre l'évaporation en été: les couverts diminuent la température de surface et leurs racines créent une porosité biologique pour une meilleure infiltration de l'eau. Cette eau va être utilisée par les couverts, ce qui va limiter

l'évaporation du sol. Les couverts végétaux permettent de réduire les risques de pertes de nitrates par lixiviation en piégeant l'azote, donc de limiter la pollution. Ils permettent d'améliorer la structure et la fertilité du sol. Ils fonctionnent à l'équilibre en créant de la matière organique, en la minéralisant et en recyclant les éléments minéraux bloqués grâce à l'intervention permanente de la flore microbienne et de la faune du sol. Ils empêchent aussi le détachement des particules de sol en atténuant l'effet "splash" des gouttes d'eau, ce qui va limiter l'érosion hydrique et éolienne ainsi que le ruissellement. En étudiant l'impact d'une augmentation du taux de couverture végétale sur les pertes en sol, Quinton *et al.* (1997) ont montré que la réduction des pertes de sol est importante dès que le couvert végétal recouvre plus de 30% de la surface du sol, jusqu'à un seuil de 70% au-delà duquel l'efficacité est maximale. Les couverts végétaux séquestrent du carbone dans le sol et fixent symbiotiquement l'azote (utilisation des légumineuses). Ils contribuent également à la lutte contre les attaques des ravageurs en attirant leurs prédateurs et le développement des mauvaises herbes en occupant les portions nus du sol et en offrant l'ombrage et l'humidité ce qui va améliorer la biodiversité (Daguzan, 2012; Séguy *et al.*, 2009; Sissoko *et al.*, 2013).

L'enherbement vise à couvrir les sols laissés nus dans l'inter rang sous vergers ou vignes, par la mise en place d'un couvert herbacé pérenne. Il peut être temporaire ou permanent, implanté tous les rangs ou non. L'enherbement améliore la structure et la fertilité du sol. La présence d'un couvert herbacé dans l'inter-rang réduit les contraintes mécaniques liées à la pluviométrie et joue un rôle de source de matière organique, créant ainsi un microclimat favorable au développement de la flore et de la faune du sol ainsi qu'à la formation d'humus. Il protège aussi le sol des agressions climatiques (érosion et ruissellement) en retenant les particules du sol, en atténuant l'impact des gouttes de pluie sur le sol, en limitant ainsi les phénomènes de battance et de tassement et en favorisant l'infiltration des eaux de pluies suite à l'amélioration de la structure du sol. Un enherbement permanent ou temporaire bien implanté permet de: maîtriser des adventices dans l'interligne; diminuer les maladies en attirant les ravageurs des cultures et leurs auxiliaires; favoriser un aspect visuel plutôt joli, donc améliorer la biodiversité; limiter le stress hydrique au niveau du sol en gardant une bonne humidité du sol; réduire le lessivage et le transfert des nitrates et des pesticides, donc atténuer la pollution des eaux et des sols (des suivis menés à Rouffach montrent que l'enherbement permet de réduire la teneur en nitrates des eaux d'infiltration, d'un facteur de 4 à 8 par rapport au désherbage et les transferts de produits phytosanitaires de 70 à 95%)[47] et réduire la pénibilité du travail en diminuant le temps de travail par rapport au désherbage mécanique (Benoit, 2010; Delpuech, Coulon, 2010; Tournebize, 2001).

Le développement de l'agrotourisme et de la vente directe, la transformation des produits agricoles, l'ouverture de l'exploitation à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation, l'embauche de la main d'œuvre, la diversification des clients et des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente, l'intégration de l'agriculteur dans des structures associatives et/ou dans des organisations et des institutions de conseil et de démonstration, et la communication entre agriculteurs sont toutes des activités qui peuvent être lucratives pour les agriculteurs. Elles permettent de mobiliser les moyens matériels et humains de l'exploitation agricole, de générer des revenus supplémentaires, de renforcer l'implication de l'exploitant et de sa famille dans la vie sociale, de s'ouvrir sur l'ensemble du territoire et d'apporter une certaine dynamique à l'activité agricole.

Les échanges entre producteurs et consommateurs sont intéressants et peuvent éveiller la curiosité de venir découvrir la vie à la ferme. L'exploitation agricole peut offrir une grande variété de paysages naturels et ses alentours peuvent être munis des sites patrimoniaux réputés. Ce cadre encourage

[47] *http://www.vitirover.com/PDF/Enherbement_et_impact_sur_la_vigne.pdf*

davantage à exercer des activités sportives (randonnée, pratique du vélo, escalade, etc.), des activités touristiques (camping à la ferme, gîtes ruraux, etc.) et à découvrir la nature. L'exploitation agricole permet également de faire connaitre les produits locaux du terroir en les vendant directement aux consommateurs sans avoir recours à des intermédiaires et/ou en organisant des évènements destinés au grand public (par exemple la fête "cerises et picodon" à Désaignes) (Thomas, 2009). Aujourd'hui, les valeurs de santé, de sécurité et de qualité sont privilégiées par les consommateurs et le secteur de l'agrotourisme, qui est défini comme étant « *toute activité d'accueil, d'hébergement et de fourniture de services à des tiers, utilisant les ressources d'une exploitation agricole, dans le but de contribuer à sa viabilité économique et à la sauvegarde de son rôle productif et plurifonctionnel* » (Hardt 1994)[48], *« peut saisir cette opportunité pour se positionner comme une alternative crédible pouvant répondre aux besoins et attentes de ces consommateurs* » (ZBA, 2006). La création d'ateliers de transformation à la ferme est une forme de diversification des exploitations agricoles. La transformation doit se faire avec les produits qui proviennent principalement de l'exploitation ou accessoirement de celles d'autres producteurs (la fabrication de vins, de fromages fermiers, de confitures, de charcuterie, etc.). Les producteurs peuvent accueillir des visiteurs et/ou des stagiaires sur leurs exploitations afin de faire découvrir leur métier et leur mode de vie (visite des bâtiments, des jardins, des ateliers de production, contact avec les animaux, etc.). Ces rencontres uniques permettent de renforcer les relations entre les différents acteurs et de vivre de moments authentiques autour de la production des produits du terroir. L'agritourisme, la vente directe et la transformation des produits sur la ferme sont des leviers de développement local. Ils permettent à l'agriculteur de développer une activité touristique en s'adaptant au marché et aux territoires ruraux et de bénéficier de nouvelles fonctions (Marcotte *et al.*, 2006; Thomas, 2009). Ces activités contribuent à la survie économique de l'exploitation agricole, à sa viabilité et à sa pérennité en augmentant le revenu de l'exploitant et la valeur ajoutée des produits. La diversification des activités sur l'exploitation (activités touristiques, vente directe, transformation des produits) est parfois exigeante en personnel, elle fait davantage appel à de la main d'œuvre extérieure, permanente et/ou saisonnière. Les circuits longs (vente à une coopérative, un grossiste, un intermédiaire, des restaurateurs ou à la grande distribution) reste le meilleur moyen pour écouler sa production agricole. Elle permet à l'agriculteur de diversifier sa clientèle et recourir à un système de distribution plus organisé et professionnalisé, ce qui va influencer positivement la durabilité de son exploitation. L'intégration de l'agriculteur dans des structures associatives et/ou dans des organisations et des institutions de conseil et de démonstration constitue un vrai point positif pour son insertion dans la société. Cette intégration lui permet de transmettre ses expériences et son savoir-faire ainsi que de diffuser les pratiques agricoles durables aux personnes voulant implanter une nouvelle activité et/ou aux porteurs de projets agricoles. Le renforcement de la communication entre les chefs d'exploitations, les membres de leurs familles et même leurs salariés, l'entraide temporaire ou régulière en échangeant des services (mise à disposition de main d'œuvre, de machines, de matériels agricoles…) et en organisant des rencontres régulières permettent d'alléger les travaux agricoles, d'échanger des idées et des expériences et d'entretenir les relations humaines au sein d'un même territoire.

La taille de la parcelle agricole joue un rôle signifiant dans la performance de l'exploitation. Dans l´aménagement d´un parcellaire, les parcelles peuvent être modifiées dans leur surface, leur largeur et leur disposition. En effet avoir des parcelles agricoles de petite taille permet de limiter l'érosion et le ruissellement, d'améliorer la biodiversité et de diminuer l'intensité et la pénibilité du travail. Le

[48] Tiré de Mamdy, Jean-François, Nathalie Disez et Monique Begon, (2001), « Agritourisme et territoires, le cas du Massif central », Téoros, 20, 2, (été), p.45.

découpage du parcellaire est l'un des facteurs clés d'érosion qui influencent l'intensité des processus de détachement, de transport et de dépôt. Des parcelles agricoles de grande taille peuvent aggraver l'érosion et le ruissellement à cause de l'existence de pentes plus longues parfois, des superficies ruisselantes plus importantes et des zones de concentration en eau dans les talwegs. La réduction de la taille des surfaces cultivées crée des zones tampons sur le bassin versant freinant ainsi le phénomène de ruissellement. La réduction de la taille des parcelles agricoles entraine généralement l'augmentation de leur nombre, ce qui va accroitre la présence des cultures, des haies aux essences diverses et des bandes enherbées installées au bord de ces parcelles, et par conséquent des auxiliaires des cultures. Si elles sont trop larges, les parcelles ne sont pas visitées en totalité par les auxiliaires. L'intensité et la pénibilité du travail sont influencées aussi par la taille des parcelles. Une taille réduite permet à l'agriculteur d'être plus minutieux, plus précis et de diminuer la quantité de travail (mécanisation, désherbage…) (Le Roux *et al.*, 2009; Naulin, Triplet, 2003).

Prendre des jours de repos, des vacances, vivre sur le lieu de travail ou à proximité de l'exploitation, éviter le bruit et la poussière, organiser et planifier le travail, sécuriser les installations, nettoyer le matériel après chaque utilisation, prendre des précautions (utilisations de masques, gants, etc.) sont des actions permettant de favoriser de bonnes conditions de travail et de diminuer son rythme. En effet, la qualité de vie et la stabilité personnelle du producteur sont des facteurs importants pour contribuer à son épanouissement professionnel et garantir le bon fonctionnement de l'exploitation agricole ainsi que sa pérennité dans le temps. Travailler dur durant de longues heures est l'image attribuée au métier d'agriculteur. Pour améliorer leur qualité de vie, plusieurs agriculteurs tentent de *« travailler moins, travailler dans de meilleures conditions, réduire les tâches difficiles, pouvoir se faire remplacer »* (Sidot *et al.*, 2005). En plus, la qualité de vie devient un facteur déterminant dans l'attractivité du métier pour la relève agricole (Boissier, 2006). Les jeunes producteurs veulent bénéficier d'un mode de vie moins contraignant et avoir du temps pour leurs vies personnelles.

Les plantes mellifères (plantes fleuries, aromatiques, arbustes, fleurs sauvages…) sont les plantes préférées des insectes butineurs et notamment des abeilles dites "mellifères" car elles ont une floraison abondante et généreuse en nectar et en pollen[49]. Leur introduction dans la rotation est idéale pour préserver, améliorer la biodiversité dans une exploitation agricole et pour lutter contre les ravageurs des cultures. En attirant les butineurs, elles attirent également des pollinisateurs, des prédateurs et parasites qui finissent par former un véritable écosystème. Par leur couleur et leur diversité, elles améliorent l'ambiance aux bords de parcelles ou bien au milieu des lignes de cultures (Decourtye *et al.*, 2014). Les plantes de coupure, appelées aussi plantes non-hôtes, entrainent une perturbation et/ou une rupture dans le cycle de développement des parasites (bioagresseurs) et diminuent ainsi leurs populations. Elles attirent les ravageurs et les empêchent d'achever leur cycle: en les empoisonnant suite à la libération de composés toxiques lors de leur culture ou de leur dégradation dans le sol (Abawi, Widmer, 2000) ; en les bloquant où ils finissent par mourir du fait de l'absence de nutriments (Djian-Caporalino *et al.*, 2008; Mazollier, Védie, 2003) ou bien en favorisant le développement des mâles et freinant celui des femelles (ne leur fournissant pas les éléments indispensables à leur développement). L'insertion des plantes de coupure dans la rotation peut se faire en interculture (entre deux périodes de production de cultures commerciales) avec implantation d'engrais verts qui constituent des plantes non hôtes ou mauvais-hôtes de nématodes, utilisés pour améliorer la structure du sol et augmenter son taux de matière organique. C'est le cas de l'avoine Avena sativa, du sorgho

[49] *https://champagne-ardenne.lpo.fr/protection/des-gestes-simples-au-quotidien/des-plantes-favorables-a-la-biodiversite/les-plantes-melliferes*

fourrager Sorghum bicolor (Poaceae), de la moutarde blanche Sinapsis alba, du radis fourrager Raphanus sativus (Brassicaceae), etc. (Djian-Caporalino, 2009; Djian-Caporalino *et al.*, 2008). Les plantes de coupure cultivées en interculture automnale limitent le lessivage des nitrates et le transfert des pesticides. Elles jouent également un rôle important dans le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols en protégeant la structure et stimulant l'activité biologique (le cas des engrais verts). En revanche, l'insertion de plantes non-hôtes doit être très finement analysée. Il faut connaître l'efficacité de ces plantes sur les parasites et surtout la gamme de leurs hôtes pour ne pas se tromper et mettre en place une plante hôte (Janvier, Ade, 2013).

L'insertion des légumineuses et/ou des CIPAN dans la rotation est bénéfique pour le système de production. Ces plantes sont cultivées pour éviter que les sols restent nus pendant l'hiver, donc pour limiter l'érosion hydrique et éolienne. Grâce à leur système racinaire souvent très développé, les légumineuses et les cultures intermédiaires améliorent la structure du sol en favorisant l'infiltration de l'eau et l'alimentation des plantes et en diminuant le ruissellement. En effet, elles créent une rugosité de la surface du sol qui laisse plus de temps à l'eau pour s'infiltrer avant de ruisseler. La présence des cultures intermédiaires y compris les légumineuses permet d'avoir une meilleure minéralisation des résidus (en raison du rapport carbone/azote faible), de stimuler l'activité biologique des sols et de mieux gérer l'apparition des adventices en perturbant leur cycle de développement. Cette présence constitue une ressource alimentaire idéale pour les insectes pollinisateurs ce qui va améliorer la biodiversité du système de production. Les légumineuses ont la particularité de fixer l'azote de l'air (fixation symbiotique) afin de le restituer à la culture suivante et améliorer la fertilisation azotée. Cette fixation est due à la présence de bactéries du genre Rhizobium leguminosarum dans les nodosités des racines. Elle contribue naturellement à enrichir le sol en azote pour diminuer l'utilisation des engrais azotés, donc le transfert des nitrates vers les eaux. L'insertion des CIPAN est une stratégie qui vise à réduire les risques de pollution liés à la fuite de nitrate en les piégeant sans augmenter pour autant la demande en azote de la culture suivante et donc les quantités d'engrais à apporter (Justes *et al.*, 2012; Schaub, 2005; Vericel, Minette, 2010). Les légumineuses présentent une bonne digestibilité et une bonne valeur alimentaire. Elles sont riches en protéines, en matières azotées et minérales et en énergie dont les valeurs sont relativement stables dans le temps (ARVALIS, 2010b). Elles constituent donc une bonne alimentation pour les animaux en favorisant ainsi leur bien-être. D'après Cavaillès (2010), l'insertion des légumineuses et/ou des CIPAN permet d'améliorer la qualité de l'air. L'utilisation des engrais azotés constitue la principale source des émissions de gaz à effet de serre puisqu'elle provoque des émissions directes et indirectes de protoxyde d'azote. Par conséquent, le moindre recours aux engrais azotés en fixant l'azote de l'air et/ou en piégeant les nitrates des sols permet de réduire ces émissions. Il faut signaler que les légumineuses peuvent avoir des limites. Certaines ne sont pas adaptées à tous les types de sol comme le soja, la féverole, la lentille, etc. Dès la floraison, les légumineuses de printemps sont exposées à la sécheresse. Les coûts de leurs semences et/ou doses de semis sont souvent plus élevés. Il est fortement conseillé d'utiliser les légumineuses en association, c'est-à-dire mélangées à des espèces non légumineuses des cultures intermédiaires "classiques" (moutarde, avoine, seigle…). En effet, des études ont montré que parfois l'insertion des légumineuses "pures" n'est pas très efficace et ne permet pas d'augmenter la quantité d'azote minéral avant drainage. Ces études ont montré également que les couverts "classiques" sont plus efficaces pour réduire le reliquat d'azote minéral avant drainage (diminution moyenne du reliquat « sol nu » de 60%). Le résultat d'une association est intermédiaire voire parfois très proche de celui des espèces "classiques", elle permet de diminuer significativement la quantité d'azote du sol avant drainage (- 50%). Cela peut expliquer la décision prise dans certains départements d'interdire l'utilisation de

légumineuses "pures" comme CIPAN en zones vulnérables dans le cadre de la Directive Nitrates (Vericel, Minette, 2010).

Il existe deux catégories de produits fertilisants: les amendements organiques apportés pour améliorer les propriétés physico-chimiques des sols et les engrais apportés pour compenser le manque des nutriments dans le sol. La totalité des éléments nutritifs des engrais organiques a une origine animale ou végétale. Certains produits agissent à la fois comme amendement organique et comme engrais, c'est le cas par exemple du fumier, du compost et des engrais verts. Le recours à des produits fertilisants organiques n'apporte que des avantages pour le système de production. Ils améliorent la fertilité et la structure des sols. En effet, les sols recevant régulièrement des fertilisants organiques présentent une biomasse et une activité microbienne plus importante que les sols ne recevant que des engrais minéraux. Quand les engrais verts sont détruits avant la floraison des cultures, la matière organique apportée par l'enfouissement de jeunes tissus végétaux favorise la vie microbienne du sol. Ils rendent la terre plus riche en matières organiques, facile à travailler, plus drainante, mieux aérée et moins sensible à l'érosion hydrique, éolienne et au ruissellement. Ils contribuent également à l'alimentation des plantes. Leur décomposition régulière par l'activité biologique alimente continuellement les cultures. Ces fertilisants libèrent les éléments nutritifs assimilables par la plante d'une façon progressive, évitant ainsi les risques de lessivage, donc de pollution. Ils permettent de combattre les maladies et les fléaux et de réduire la salinité du sol. Les sols sont moins acides et durs et ne constituent plus une cible facile pour les maladies et les insectes. Ils permettent également d'éviter le salissement des parcelles par des adventices en limitant leur développement, d'autant plus si leur croissance est rapide et leur pouvoir couvrant important. Les engrais organiques contribuent tant à la quantité qu'à la qualité des produits lorsqu'ils sont utilisés de manière raisonnée et équilibrée. Ils contribuent à l'amélioration du bien-être humain et animal en renforçant le continu nutritionnel des cultures et en garantissent ainsi une bonne sécurité nutritionnelle (AGROBIO, 2014; FAO, 2003, 2013b; Guilbault, 2011; Petit, Jobin, 2005; Schöll, 2005).

Trois catégories de biodiversité sont distinguées en milieu agricole en prenant en compte leur rôle vis-à-vis de l'agroécosystème (Peeters *et al.*, 2004): *i)* la biodiversité domestique mise en place et gérée par l'agriculteur (animaux élevés et végétaux cultivés); *ii)* la biodiversité para-agricole dite encore sauvage fonctionnelle (espèces auxiliaires et espèces ravageuses) et *iii)* la biodiversité extra-agricole rassemble la biodiversité sauvage spontanée. La présence de plusieurs espèces et races animales y compris les races rares ou en voie de disparition et de plusieurs espèces et variétés végétales y compris les variétés anciennes ou en voie de disparition permet d'enrichir la biodiversité et de conserver les ressources territoriales. La diversité génétique (variation au sein des espèces) est importante pour l'adaptation des espèces agricoles à des milieux particuliers grâce à un mélange de sélection humaine. Plusieurs études scientifiques ont montré l'importance de la diversité végétale. La mise en place de plusieurs espèces et variétés diminue le risque de maladies et augmente le rendement d'une parcelle (De Vallavieille-Pope *et al.*, 2006; Pellet *et al.*, 2005). En cultivant plusieurs espèces et variétés, l'agriculteur couvre le maximum des terres et diminue ainsi le pourcentage des sols nus. Par conséquent, il va réduire l'érosion et le ruissellement ainsi que le développement des adventices, améliorer la fertilité du sol, sa protection ainsi que la régulation du cycle hydrologique et attirer le maximum des pollinisateurs et auxiliaires des cultures. En outre, l'accès à une nourriture nutritive et variée en quantité suffisante est essentiel pour la santé de l'animal (Le Roux *et al.*, 2009).

Depuis une vingtaine d'années en France, la thématique du « bien-être » en élevage émerge suite à des interrogations critiques sur les conditions de vie des animaux (Porcher, 2002). Le bien-être animal est un concept difficile à définir. Or, l'ensemble de la communauté scientifique s'est mis d'accord sur ce

qui est nécessaire à son respect. Pour elle, un système équilibré d'appréciation du bien-être animal doit satisfaire quatre grands principes: un bon logement, une bonne alimentation, une bonne santé et un comportement approprié. En effet, l'Union Européenne reconnait aujourd'hui les animaux comme des êtres sensibles qui ont le droit d'avoir des conditions de confort et de sécurité. « *Le respect du bien-être des animaux d'élevage est en passe de devenir une demande sociale majeure* », déclarent des zootechniciens en 1999 (Veissier *et al.*, 1999). Pour évaluer le bien-être animal, il faut évaluer les quatre principes de son système d'appréciation. Pour un bon logement, il est nécessaire de maintenir les abris appropriés, les bâtiments ainsi que les installations d'alimentation dans de bonnes conditions de propreté. Le maintien d'une autonomie alimentaire en produisant son propre fourrage "biologique" riche en protéines via, en particulier, des légumineuses produites à l'exploitation et la protection des pâturages permettent d'offrir une bonne alimentation aux animaux, par conséquent d'améliorer la qualité nutritionnelle de leurs produits pour la consommation humaine (viande, lait, etc.). L'absence de maladies, de blessures, de toute peur ou détresse, l'intervention préventive (la vaccination) et la suppression de l'utilisation des antibiotiques contribuent à préserver la santé des animaux et à conserver aussi la qualité nutritionnelle de leurs produits. Offrir la possibilité aux animaux d'exprimer leurs comportements normaux est nécessaire pour avoir un comportement approprié (Denis, 2015; FAO, 2002; Guillou *et al.*, 2013; Veissier, Botreau, 2015).

Les infrastructures agroécologiques (bosquets, haies, bandes enherbées, prairies naturelles, etc.) remplissent de nombreux services écologiques et contribuent à la préservation de la biodiversité et l'environnement. En effet, elles permettent de: *i)* limiter l'érosion et le ruissellement en freinant l'écoulement d'eau, en fixant la terre et en jouant le rôle de brise-vent (le cas des arbres isolés), *ii)* améliorer la fertilité du sol en apportant de la matière organique, en produisant de la biomasse et en séquestrant du carbone dans le sol, *iii)* améliorer la qualité des eaux et des sols en limitant le transfert des polluants (nitrates et pesticides), *iv)* améliorer la biodiversité et la diversité paysagère en offrant une bonne qualité des habitats pour les oiseux, les pollinisateurs, les insectes prédateurs et les hôtes, permettant ainsi de lutter contre les ravageurs et de diminuer le recours aux produits phytosanitaires et *v)* protéger le cheptel des aléas climatiques tels que le vent, les variations de température et d'humidité (Guillou *et al.*, 2013; Nicholls, Altieri, 2015; Rusch *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2007).

Les systèmes agroforestiers qui associent, dans une même parcelle, arbres (fruitiers ou forestiers) et cultures contribuent à une meilleure performance productive et environnementale. En s'appuyant sur les complémentarités entre ces arbres et ces cultures en matière, notamment, d'accès à et d'utilisation des ressources en eau, lumière et azote, le système agroforestier permet d'améliorer la fertilité des sols (CARI *et al.*, 2008). Le rendement des cultures augmente dans les champs adjacents aux brise-vent (arbres) suite à l'amélioration des microclimats, à la réduction de la vitesse des vents et des eaux et, par conséquent, à la limitation de l'érosion et ruissellement. Des études réalisées dans le Dakota du Nord et le Dakota du Sud en Saskatchewan au Manitoba ont montré que les champs protégés par des brise-vent à maturité augmentent en moyenne leur rendement de trois et demi pour cent pour le blé et jusqu'à six et demi pour cent pour la luzerne cultivée[50]. Les arbres plantés avec un système racinaire profond réduisent les érosions éoliennes et hydriques, rendent le sol plus poreux et favorisent ainsi l'infiltration d'eau dans les pâturages. Cela réduit le ruissellement en surface et les inondations (EURAF *et al.*, 2015). Des arbres biens aménagés contribuent au bien-être animal en offrant aux animaux un microclimat approprié pour exprimer leurs comportements naturels et pâturer. En effet, ces arbres protègent les animaux du froid en hiver et leurs donnent de l'ombre en été, ce qui permet de

[50] Agriculture et Agroalimentaire ; Canada. Direction générale des services agroenvironnementaux.

diminuer leur stress et augmenter le taux de conversion des aliments. Des recherches ont montré que les arbres sont extrêmement utiles pour séquestrer les gaz à effet de serre, ce qui va améliorer la qualité de l'air[51]. La présence d'arbres dans les parcelles cultivées contribue aussi à la diversification des productions et à la fourniture d'habitats propices à une lutte biologique plus efficace contre les ravageurs (Guillou *et al.*, 2013) en offrant un bon microclimat (plus d'humidité et d'ombre) non favorable pour leur prolifération (Altieri, 1999; Robin, 2014). L'agroforesterie permet également de diminuer l'évapotranspiration des cultures, donc la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation et de contrôler les adventices en occupant la strate arborée (Griffon, Mallet, 1999).

Le désherbage mécanique est une technique agronomique curative utilisée pour supprimer ou réduire l'usage des herbicides. Il s'effectue à l'aide de plusieurs outils mécaniques tractés (bineuses, herses étrilles, houes rotatives ; etc.) avec différents modes d'action: techniques d'arrachage, d'écimage, de sectionnement des racines ou de recouvrement des plantules (Rodriguez, 2004). Cette technique permet d'améliorer la fertilité du sol en favorisant son aération et la minéralisation de la matière organique (Cuma Ouest, 2005). En revanche, elle peut ameublir le sol et accentuer son tassement (passage des engins agricoles) en facilitant par conséquent l'entraînement des particules par le ruissellement. Elle peut également accentuer le phénomène d'érosion surtout lors d'orages violents et sur des parcelles à forte pente. En outre, l'émission de CO_2, gaz à effet de serre, et l'utilisation de l'énergie augmentent en désherbant le sol mécaniquement à cause de l'usage des carburants fossiles (gasoil) (Boutin *et al.*, 2011). Le désherbage mécanique accentue aussi la complexité et le temps de travail nécessaire (Pardo *et al.*, 2010). En effet, c'est une technique très gourmande en temps: nombre important de passages, vitesse réduite et faible largeur de travail. Des études d'ARVALIS ont montré que l'introduction de désherbage mécanique dans les cultures de céréales à paille demande trois fois plus de temps (Pipon, 2013).

Diminuer l'utilisation des ressources énergétiques non renouvelables (charbon, pétrole, gaz naturel…) est un axe important pour la durabilité des systèmes de production agricole. En effet, la préservation des ressources énergétiques joue un rôle crucial dans la performance environnementale et économique de l'exploitation agricole. L'agriculture représente moins de 5% de la consommation des énergies directes (fioul et électricité) et 10% si l'on intègre la consommation d'énergie indirecte consommée pour produire les engrais et les aliments du bétail (ACTA, 2008). Pendant longtemps, les producteurs ne s'intéressent pas aux ressources utilisées puisque le seul objectif était de produire à tout prix sans penser aux effets néfastes que cela pouvait générer. Or, les scientifiques soulignent la surexploitation des réserves en ressources fossiles, d'où la nécessité de les préserver en les économisant et en produisant et/ou utilisant d'autres sources d'énergie telles que les énergies dites renouvelables comme: *i)* la radiation solaire (des centrales photovoltaïques utilisées pour les bâtiments agricoles) ; *ii)* la force éolienne (utiliser de petites éoliennes pour produire une partie de l'électricité dont le producteur a besoin) ; *iii)* la présence des cultures énergétiques (Miscanthus, TTCR de saule, colza en tant que combustible ou en tant qu'huile végétale pour la production d'agro-carburant) ; *iv)* les déchets agricoles (effluents, pailles, céréales…) utilisés comme combustibles ou dans un processus de digestion tel que la méthanisation) ; *v)* l'installation d'écrans thermiques pour économiser de l'énergie en serres, etc. (ACTA, 2008; Joubert Garnaud, 2010). L'utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation, ainsi que d'un dispositif d'irrigation économique (irrigation localisée ou micro-irrigation par goutteurs, mini-diffuseurs, micro-jets, etc.)

[51] *Idem*

contribue également à diminuer l'utilisation énergétique. L'irrigation localisée consiste à fournir l'eau aux cultures en faible quantité et à une fréquence élevée. Pour son fonctionnement, cette méthode d'arrosage exige donc moins d'énergie que les autres systèmes d'irrigation grâce à une consommation d'eau réduite et une faible pression d'utilisation (El Amine, 2009; Tizaoui, 2004).

L'eau, un bien commun non substituable, est essentiel à la vie de tous les êtres vivants. Elle constitue une ressource indispensable pour l'activité agricole, sans laquelle aucune production n'est possible. Par conséquent il faut la gérer et l'utiliser de manière optimale. Or, actuellement l'agriculture est responsable de 70% des prélèvements en eau douce dans le monde et de plus de 90 % de son utilisation non renouvelable (FAO, 2013a). Pour faire face à ce constat, il est important de penser à augmenter l'efficience de l'utilisation de l'eau par la réduction des pertes au cours du processus de production. Dans ce contexte, l'utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie, le recours à des variétés plus adaptées à la sécheresse, l'utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation et la mise en place d'un dispositif d'irrigation localisée, sont toutes des options permettant de réduire les pertes d'eau. L'irrigation localisée consiste à localiser l'eau au plus près des racines, donc à limiter les pertes d'eau par évaporation. Elle permet d'économiser jusqu'à 50 % d'eau par rapport aux autres systèmes d'irrigation (Salhi *et al.*, 2012; Tizaoui, 2004; Troy, 2013).

La lutte biologique (« *biological control* » ou « *biocontrol* » en anglais) consiste à contrôler ou combattre un ravageur par l'utilisation ou la promotion de ses ennemis naturels (organismes vivants, prédateurs, parasites, etc.) ou une maladie en favorisant ses antagonistes dans le but de réduire leurs dommages aux productions végétales (Ferron, 1999). Ces organismes vivants peuvent être des micro-organismes (champignons, bactéries, virus, etc.), des animaux invertébrés (acariens, insectes, nématodes, etc.) ou des vertébrés (reptiles, amphibiens, oiseaux, poissons, etc.). Ces organismes, souvent absents dans le milieu agricole, sont attirés par différents éléments paysagers (haies, plantes nectarifères, etc.). Ces éléments fournissent des ressources alimentaires indispensables à la présence des auxiliaires et à la stabilité de leurs populations (nectar, pollen et proies alternatives) ainsi que des sites de reproduction et de refuge (Nicholls, Altieri, 2013; Schneider *et al.*, 2014). La présence de plusieurs auxiliaires et le développement des milieux semi-naturels jouent un rôle primordial dans l'amélioration de la biodiversité. La lutte biologique ne permet pas une élimination totale des ravageurs. Elle vise la réduction durable de leurs effectifs de manière à ramener les dommages à un niveau écologiquement et/ou économiquement tolérable. Par conséquent, il est important de bien sélectionner les organismes vivants utilisés, ils doivent être hautement spécifiques à l'espèce-cible afin qu'ils ne s'attaquent pas à d'autres espèces et ne deviennent pas à leur tour des pestes végétales ou animales. L'utilisation des produits de biocontrôle contribuent également à lutter contre les ravageurs des cultures et à préserver la biodiversité. Ce sont des agents et/ou des produits mettant en œuvre des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures. Ils peuvent être utilisés seuls ou associés à d'autres moyens de protection des plantes et leur but n'est pas la destruction totale des populations de bioagresseurs mais plutôt le contrôle de leur nombre. On distingue quatre principaux types d'agents de biocontrôle. *Les macro-organismes auxiliaires* sont des invertébrés, insectes, acariens ou nématodes utilisés de façon raisonnée pour protéger les cultures contre les attaques des ravageurs. *Les micro-organismes* sont des champignons, bactéries et virus utilisés pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies ou stimuler la vitalité des plantes. *Les médiateurs chimiques* comprennent les phéromones d'insectes et les kairomones. Ils permettent de suivre des vols des ravageurs et de contrôler leurs populations par la méthode de confusion sexuelle et le piégeage. *Les substances naturelles* utilisées comme produits de biocontrôle

sont composées de substances présentes dans le milieu naturel et peuvent être d'origine végétale, animale ou minérale (ARVALIS, 2015; Soubeyran, 2014). Biocontrôle et lutte biologique sont parfois utilisés comme des synonymes car les deux font appel à des auxiliaires naturels pour lutter contre les ravageurs. En revanche, contrairement à la lutte biologique, le biocontrôle inclut l'utilisation des phéromones de synthèse ou de substances naturelles d'origine minérale et n'intègre pas les vertébrés.

Le faux semis, la solarisation et l'utilisation de variétés (et/ou de porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures réduisent l'apparition des mauvaises herbes et l'attaque des ravageurs des cultures. Le faux semis est une technique de lutte dite mécanique qui consiste à déclencher la levée des adventices par une préparation du sol adaptée afin de les détruire après germination, d'éviter une compétition précoce avec les cultures et de réduire ainsi leur potentiel d'infestation. L'intervention peut se faire une seule fois mais généralement elle est renouvelée une à deux fois avant semis pour maximiser à la fois les germinations et l'efficacité de destruction des plantules. Quand elle est appliquée régulièrement, la technique de faux-semis peut diminuer progressivement le stock semencier des adventices dans le sol (CRABE, 1986; Munier-Jolain *et al.*, 2008). Le travail du sol et la destruction des mauvaises herbes peuvent entrainer une perturbation au niveau des phases du cycle de développement de certains bioagresseurs tapis sous terre (champignons du sol, nématodes…) et leur élimination en détruisant leurs abris et leurs œufs (Sage, 2014). La solarisation est une technique de désinfection thermique du sol utilisant l'énergie solaire. Elle consiste à augmenter la température dans les couches superficielles du sol (jusqu'à 30-40 cm) pendant une durée suffisamment longue (supérieure à 45 jours) en le recouvrant d'un film plastique transparent après un arrosage abondant pour détruire certains champignons et bactéries pathogènes ainsi que les graines de certains plantes adventices (Bussière *et al.*, 2011; Mazollier, 2009). L'utilisation de variétés (et/ou de porte-greffes) végétales résistantes aux bioagresseurs ainsi qu'aux adventices et défavorables à leur installation ou à leur propagation constitue un levier agronomique fort dans la protection des cultures. L'apparition des variétés présentant des caractéristiques génétiques ou morphologiques de résistance aux bioagresseurs, aux maladies et aux mauvaises herbes fait l'objet de nombreuses innovations. La connaissance des caractéristiques de la variété est très importante pour réduire la pression des pathogènes et des adventices. Ces caractéristiques sont de plusieurs ordres: variétés couvrantes contre les adventices, variétés génétiquement résistantes ou tolérantes vis-à-vis des pathogènes et variétés peu sensibles aux ravageurs. Il est nécessaire de bien connaitre le parasite, son mode de reproduction, sa transmission et ses conditions d'infestation ainsi que le comportement du matériel végétal (variétés très sensibles, peu sensibles, un peu résistantes ou très résistantes) afin de pouvoir introduire des résistances génétiques dans les variétés. De nouvelles résistances à différents parasites et ravageurs chez les légumes et les fruits sont apparues (par exemple: oïdium et cladosporium chez le melon, mildiou chez le piment, tavelure chez le pommier, mildiou et nématode à kyste chez la pomme de terre). Il faut souligner aussi l'existence des travaux menés sur les porte-greffes des légumes et des fruits pour la résistance aux parasites du sol, en particulier les nématodes (Jeannequin *et al.*, 2011; Plagès, 2013). Le recours au pouvoir couvrant (ou taux de couverture du sol) des cultures permet de réduire l'infestation des mauvaises herbes. En effet, les cultures présentent des caractéristiques morphologiques qui les permettent d'entrer en compétition avec des adventices. La notion de pouvoir couvrant est l'une de ces caractéristiques. C'est la capacité de la plante ou son ombre à couvrir le sol et priver de lumière les autres plantes indésirables en perturbant ainsi leur croissance (Dejoux *et al.*, 1999). Pour lutter contre les mauvaises herbes, il est donc conseillé de choisir des variétés à pouvoir couvrant élevé. L'utilisation de variétés (et/ou de porte-greffes) végétales résistantes aux maladies, aux ravageurs et aux adventices permet de maintenir la santé des plantes et d'obtenir ainsi des produits alimentaires sûrs et sains (FAO, 2002).

Annexe 3. Extrait de la matrice 2 : techniques agricoles & outils, moyens et caractéristiques de leur mise en œuvre (Trabelsi, 2014)

Traitement et stockage des eaux usées

Regrouper les eaux usées (collecte individuelle ou collective)

Les dépolluer (épuration) par différentes méthodes :

Utiliser **les filtres plantés de roseaux** [1] (des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, gravier…) où sont plantés différents végétaux subaquatiques (roseaux, massettes…); **les fossés lagunants** [2] (série de 3 bassins de rétention qui fonctionnent d'une manière aérobie, précédés d'une lagune de décantation profonde qui fonctionne d'une manière anaérobie); **les filtres à sable** [3] (deux massifs filtrants garnis de sable, recouverts de graviers grossiers et traversés par l'eau), etc.

Les eaux traitées sont récupérées en sortie de station d'épuration et stockées dans des bassins ou évacuées directement pour autre utilisation (irrigation, lavage des matériels agricoles…).

Traitement et stockage des effluents liquides d'élevage

Regrouper les effluents liquides de l'élevage peu chargés dans des fosses, des réservoirs…

Il faut penser à couvrir les fosses et les fumières.

Traiter les effluents en utilisant des techniques d'épuration classiques (procédés biologiques, compostage, coagulation/floculation, etc.). elles permettent de transformer la matière et/ou de séparer et concentrer les éléments fertilisants dans différentes phases appelés coproduits.

Les effluents traités sont récupérés et stockés dans des bassins.

Recyclage des déchets organiques

Les déchets organiques peuvent être : Mis en décharge, incinérés, triés mécano-biologiquement ou traités biologiquement [4].

Pratiquer **la méthanisation** dans un cadre collectif ou à niveau individuel.

C'est la dégradation partielle de la matière organique en absence d'oxygène sous l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes (des bactéries naturellement présentes dans les déjections animales). Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de biogaz (composé majoritairement de méthane et de CO_2) et d'un digestat.

La matière organique se retrouve dans : les résidus agricoles et les déchets verts non ligneux, les déchets d'industries agro-alimentaires, les déjections animales (fumier, lisier), les boues d'épuration d'eaux urbaines, etc.

Réaliser des collectes individuelles ou collectives des déchets non organiques

[1] *http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/195*
[2] *http://www.fnec.fr/IMG/pdf/5_-Les_solutions_techniques_complementaires.pdf*
[3] *http://www.wikiwater.fr/e21-le-traitement-de-l-eau-par.html*
[4]*http://www.lorraine.ademe.fr/sites/default/files/files/Mediatheque/Publications/Dechet/Etude_MCS_Innotech_-_Valorisation_des_dechets_organiques_par_lombricompostage.pdf*

Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de bio-contrôle

La lutte biologique peut avoir trois types de stratégies:

*La lutte biologique par *inoculation* vise à limiter les populations d'espèces nuisibles exotiques ou indigènes par l'importation d'agents exotiques.

*La lutte biologique *inondative* consiste à introduire en grandes quantités (grand nombre) un auxiliaire biologique dans les écosystèmes pour accroitre sa population et réduire ainsi celle de ravageurs. Il s'agit d'effectuer des lâchers d'auxiliaires plusieurs fois et à forte dose.

*La lutte biologique par *conservation* (*Conservation Biological Control*) vise à maintenir les populations indigènes d'ennemis naturels par le biais de pratiques

culturales adéquates et par une manipulation de l'habitat (mettre en place des haies, des bosquets, etc. la rotation des cultures…).
Pour la lutte biologique, l'agriculteur peut utiliser les auxiliaires suivants :
-Les coccinelles : sont les prédateurs naturels des pucerons. Chaque coccinelle mange au moins 50 pucerons par jour. Pour les attirer, il suffit de planter l'achillée et la tanaisie, plantes où elles aiment pondre leurs œufs.
-Les guêpes : sont des dangereux prédateurs pour la plupart des insectes. Pour les attirer, il suffit de planter de plantes mellifères (camomilles, menthes, verges d'or…)
-Les libellules: comptent parmi les plus dangereux prédateurs des insectes.
Pour la lutte biologique, l'agriculteur peut utiliser la technique de **confusion sexuelle** en arboriculture et en viticulture: elle consiste à saturer artificiellement l'atmosphère du verger en phéromones (substances chimiques naturellement émises par les insectes femelles pour attirer les mâles et donc assurer leur reproduction) pour empêcher les mâles de localiser les femelles et limiter ainsi les accouplements et les pontes. Elle concerne surtout *Carpocapse* sur pommier, poirier et noyer ; *Carpocapse des prunes sur prunier; Tordeuse orientale* sur pêcher, abricotier, prunier, pommier et poirier ; *Cochylis sur vigne* et *Eudémis* (raisin de table). La technique consiste à poser des "capsules" permettant la diffusion lente de la phéromone dans le tiers supérieur de l'arbre. L'agriculteur doit réaliser 1 à 3 poses par saison en fonction de la cible et du type de diffuseur. Elle est d'autant plus efficace que la surface est grande, la mise en place d'un nombre important de diffuseurs sur les petites parcelles est donc nécessaire. Les parcelles doivent être regroupées en ilots homogènes. Un renforcement du nombre de diffuseurs de l'ordre de 10% à 20% est généralement nécessaire sur les bordures des parcelles. L'agriculteur doit faire des observations régulières (tous les 10 à 15 jours) [1].
La lutte par confusion sexuelle est une méthode très utilisée pour lutter contre *le ver de la grappe* en viticulture (principal ravageur des vignobles européens) : à l'intérieur des parcelles les capsules sont disposées tous les 4 pieds, un rang sur 2, et chaque capsule diffuse dans un rayon de 20 m². Elles sont mises en place avant le démarrage de la 1 ère génération. Deux comptages par semaine permettent de suivre la pression parasitaire [2].

[1] *http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Guide_ecophyto_fruits_FT17-%20confusion%20sexuelle.pdf*
[2] *http://ad-mediterranee.org/IMG/pdf/confusion_sexuelle_en_viticulture_fiche_admed.pdf*

Annexe 4. Matrice techniques agricoles & impacts (Trabelsi, 2014)

Techniques ou actions agricoles	Impacts techniques	Impacts environnementaux	Impacts économiques	Impacts sociaux
Utilisation du cuivre et/ou du soufre (à la place des pesticides chimiques)	Possibilité de diminution des rendements (n premières années)	Diminution de la pollution des eaux et des sols	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides) Possibilité de diminution de la valeur ajoutée (n premières années) à cause de la réduction des produits	Conservation de la santé humaine
Utilisation des pesticides chimiques	Possibilité de diminution des rendements (n premières années)	Diminution de la pollution des eaux et des sols Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale et aux intrants (pesticides) Possibilité de diminution de la valeur ajoutée (n premières années) à cause de la réduction des produits	Conservation de la santé humaine et animale Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)	Réduction voire suppression de l'utilisation des pesticides chimiques Possibilité de diminution des rendements (n premières années)	Diminution de la pollution des eaux et des sols Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale Possibilité de diminution de la valeur ajoutée (n premières années)	Conservation de la santé humaine et animale Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	Ajustement des apports azotés Réduction de l'utilisation des pesticides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Amélioration de la fertilité du sol et de l'efficience de la fertilisation azotée	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais azotés et pesticides)	Conservation de la santé animale Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	Ajustement des apports phosphatés Réduction de l'utilisation des pesticides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Amélioration de la fertilité du sol	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais phosphatés et pesticides)	Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique	Ajustement des apports potassiques Réduction de l'utilisation des pesticides	Amélioration de la fertilité du sol	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais potassiques et pesticides)	Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	Ajustement des apports azotés	Amélioration de la fertilisation azotée	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais azotés) Addition des coûts des analyses	

Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	Ajustement des apports azotés	Amélioration de la fertilisation azotée	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais azotés)	
Stockage et traitement des eaux usées et/ou des effluents liquides d'élevage **Recyclage des déchets**		Diminution de la pollution des eaux et des sols	Possibilité d'addition des coûts relatifs au traitement et/ou recyclage	
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	Réduction de l'utilisation des engrais azotés Augmentation des ressources protéiques pour l'alimentation animale et humaine Réduction de l'utilisation des herbicides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Diminution de la pollution de l'air (Réduction des émissions de gaz à effet de serre par la réduction des émissions de protoxyde d'azote dont les engrais azotés est la principale ressource) Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol et de sa structure (Augmentation du taux d'azote et de la matière organique dans le sol), de la fertilisation azotée et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale et aux intrants (herbicides et engrais azotés)	Conservation de la santé humaine et animale
Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture) **ou** **Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)**	Diminution de la consommation d'eau (Ralentissement de l'évaporation de l'eau et maintien de l'humidité du sol) Réduction de l'utilisation des pesticides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol (Enrichissement du sol en nutriments et augmentation du taux de la matière organique) et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (eau et pesticides)	Conservation de la santé humaine Diminution de l'intensité et pénibilité du travail
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	Réduction voire suppression de l'utilisation des pesticides Réduction de l'utilisation des fertilisants minéraux	Diminution de la pollution des eaux et des sols Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale, aux intrants (pesticides) et aux fertilisants minéraux	Conservation de la santé humaine et animale Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits

Techniques ou actions agricoles	Impacts techniques	Impacts environnementaux	Impacts économiques	Impacts sociaux
Mise en place des infrastructures agroécologiques	Réduction voire suppression de l'utilisation des insecticides et fongicides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité (Préservation de la faune et la flore et diversification de la mosaïque paysagère)	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale et aux intrants (insecticides et fongicides) Possibilité d'addition des coûts relatifs à l'installation et à l'entretien des dispositifs agroécologiques	Conservation de la santé humaine et animale
Rotation des cultures	Réduction de l'utilisation des pesticides et des engrais azotés	Diminution de la pollution des eaux et des sols Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol, de sa structure et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides et engrais azotés)	Conservation de la santé humaine
Intégration des plantes de coupure dans la rotation	Réduction de l'utilisation des insecticides et fongicides	Diminution de la pollution des eaux et des sols Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (insecticides et fongicides)	Conservation de la santé humaine
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	Diminution de la consommation énergétique (fioul)	Diminution de la pollution de l'air (Réduction des émissions de CO2) Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité et la structure du sol (Conservation de la vie microbiologique et stockage augmenté de carbone dans l'horizon superficiel du sol et limitation des pertes)	Diminution des coûts relatifs aux intrants (énergie)	Diminution de l'intensité et pénibilité du travail
Mise en place d'un système agroforestier	Diminution de la consommation d'eau Réduction de l'utilisation des pesticides	Diminution de la pollution de l'air Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol (Production de biomasse) et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale et aux intrants (eau et pesticides)	Conservation de la santé humaine et animale
Utilisation du désherbage	Réduction voire suppression de l'utilisation	Diminution de la pollution des eaux et des sols	Diminution des coûts relatifs à la santé	Conservation de la santé

mécanique (et/ou manuel)	des herbicides Augmentation de la consommation énergétique (fioul)	Augmentation de la pollution de l'air Possibilité d'accentuer l'érosion et le ruissellement (Destruction de la croûte de battance) Amélioration de la fertilité et de structure des sols (Non perturbation de la vie microbiologique, favorisation la minéralisation de la MO…)	humaine et aux intrants (herbicides) Addition des coûts relatifs au carburant (fioul)	humaine Augmentation de l'intensité et pénibilité du travail
Assolement des cultures	Réduction de l'utilisation des pesticides	Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol, de la fertilisation azotée et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides)	Conservation de la santé humaine
Dimension moyenne des parcelles		Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la biodiversité		Diminution de l'intensité et pénibilité du travail
Mise en place des infrastructures antiérosives		Limitation de l'érosion et du ruissellement		
Diversité végétale	Réduction de l'utilisation des pesticides Diversification des produits	Limitation de l'érosion et du ruissellement Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et animale et aux intrants (pesticides) Amélioration des revenus (plusieurs produits)	Conservation de la santé humaine et animale
Alternance fauche-pâture	Réduction de l'utilisation des herbicides	Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité (Fauche: le maintien d'un couvert végétal, abri pour les insectes, oiseaux, etc. & Pâturage: la présence des animaux et des bouses est favorable aux insectes et aux invertébrés)	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (herbicides)	Conservation de la santé humaine
Association des cultures dans la même parcelle	Réduction de l'utilisation des pesticides	Amélioration de la fertilité du sol et de la biodiversité	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides)	Conservation de la santé humaine

Techniques ou actions agricoles	Impacts techniques	Impacts environnementaux	Impacts économiques	Impacts sociaux
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	Diminution de la consommation d'eau (Limitation des pertes) et d'énergie		Diminution des coûts relatifs aux intrants (eau et énergie)	
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie	Diminution de la consommation d'eau		Diminution des coûts relatifs aux intrants (eau) Possibilité d'addition des coûts relatifs à l'installation et l'entretien des dispositifs	
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse **Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation**	Diminution de la consommation d'eau		Diminution des coûts relatifs aux intrants (eau)	
Production de l'énergie renouvelable	Diminution de la consommation énergétique		Diminution des coûts relatifs aux intrants (énergie) Possibilité d'addition des coûts relatifs aux installations (éoliennes ou autres)	
Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation	Diminution de la consommation d'électricité et/ou du gaz		Diminution des coûts relatifs aux intrants (électricité et gaz)	
Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de bio-contrôle	Réduction voire suppression de l'utilisation des insecticides et fongicides Possibilité de diminution des rendements (n premières années)	Amélioration de la biodiversité (Attraction des auxiliaires des cultures)	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (insecticides et fongicides) Possibilité de diminution de la valeur ajoutée (n premières années) à cause de la réduction des produits	Conservation de la santé humaine
Diversité animale	Diversification des produits	Amélioration de la biodiversité		

Présence des espèces végétales ancienne, des races et/ou des variétés régionales rares ou en voie de disparition		Amélioration de la biodiversité et ressources locales du territoire		
Intégration des plantes (espèces) mellifères	Réduction de l'utilisation des insecticides et fongicides	Amélioration de la biodiversité (Diversité végétale et animale: oiseaux, abeilles, etc. & Attraction des auxiliaires des cultures)	Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (insecticides et fongicides)	Conservation de la santé humaine
Présence de variétés (et/ou de porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	Réduction de l'utilisation des pesticides		Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides)	Conservation de la santé humaine Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Utilisation de la technique de faux-semis **Adaptation de la date de semis (de plantation) et/ou de la densité de la végétation**	Réduction de l'utilisation des pesticides		Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides)	Conservation de la santé humaine
Utilisation des techniques alternatives (prophylaxie; plantes pièges; piégeage massif, etc.)	Réduction voire suppression de l'utilisation des insecticides et fongicides Possibilité de diminution des rendements (n premières années)		Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (insecticides et fongicides) Possibilité de diminution de la valeur ajoutée (n premières années) à cause de la réduction des produits	Conservation de la santé humaine
Utilisation des barrières physiques et/ou de la solarisation	Réduction de l'utilisation des insecticides et fongicides et/ou des herbicides		Diminution des coûts relatifs à la santé humaine et aux intrants (pesticides)	Conservation de la santé humaine
Intégration du bétail dans les systèmes de production agricole	Production du compost Augmentation de la diversité des produits	Amélioration de la biodiversité (présence d'animaux et maintien des prairies permanentes)	Diminution des coûts relatifs aux intrants (engrais organiques et minéraux)	

Techniques ou actions agricoles	Impacts techniques	Impacts environnementaux	Impacts économiques	Impacts sociaux
Protection des pâturages **Garantie le confort des bâtiments**	Amélioration des conditions d'élevage et de la production animale		Diminution des coûts relatifs à la santé animale	Conservation du bien-être animal
Préservation préventive de la santé des animaux	Amélioration des conditions d'élevage et de la production animale		Diminution des coûts relatifs à la santé animale	Conservation du bien-être animal Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Maintenir l'autonomie alimentaire (du bétail)	Amélioration des conditions d'élevage et de la production animale Suppression de l'achat des aliments du bétail		Diminution des coûts relatifs à la santé animale et aux aliments du bétail	Conservation du bien-être animal Garantie de la sécurité nutritionnelle des produits
Renforcement de la communication entre les agriculteurs **Intégration dans des structures associatives**				Adoption d'autres pratiques innovantes Partage des savoirs et des expériences Insertion dans la société (Amélioration de la relation avec les autres acteurs du territoire)
Embauche de la main d'œuvre			Addition des coûts (salaires)	Insertion dans la société Diminution du taux de chômage
Développement de l'agrotourisme **Développement des circuits courts (la vente directe)** **Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation** **Intégration ou participation dans des organisations et/ou des**			Augmentation de la valeur ajoutée	Insertion dans la société (Amélioration de la relation avec les consommateurs et les autres acteurs du territoire) Développement de l'insertion professionnelle

institutions de conseil et de démonstration			
Transformation des produits sur l'exploitation	Diversification des produits à vendre	Augmentation de la valeur ajoutée Addition des coûts (achat du matériel, livraison)	Insertion dans la société (Amélioration de la relation avec les consommateurs et les autres acteurs du territoire) Développement de l'insertion professionnelle
Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente **Diversification clientèle**			Développement de l'insertion professionnelle Diminution de la vulnérabilité commerciale
Diminution du rythme de travail difficile **Présence d'un bon environnement de travail**		Diminution des coûts relatifs à la santé humaine	Diminution de l'intensité et pénibilité du travail

Annexe 5. Indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) & Paramètres (Trabelsi, 2015)

Enjeux	Indicateurs	Codes	Paramètres
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P1**	Stockage et traitement des eaux usées Stockage et traitement des effluents liquides d'élevage Recyclage des déchets
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P2**	Utilisation du cuivre
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P3**	Utilisation du soufre
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P4**	Utilisation des pesticides chimiques
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P5**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P6**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P7**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P8**	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P9**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P10**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P11**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P12**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P13**	Rotation des cultures
Environnement	**Pollution des eaux et des sols**	**P14**	Intégration des plantes de coupure dans la rotation
Environnement	**Pollution de l'air**	**PA1**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Pollution de l'air**	**PA2**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement
Environnement	**Pollution de l'air**	**PA3**	Mise en place d'un système agroforestier
Environnement	**Pollution de l'air**	**PA4**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER1**	Assolement des cultures
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER2**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER3**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER4**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER5**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER6**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER7**	Rotation des cultures
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER8**	Dimension moyenne des parcelles
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER9**	Mise en place des infrastructures antiérosives
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER10**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER11**	Mise en place d'un système agroforestier
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER12**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER13**	Intégration des plantes de coupure dans la rotation
Environnement	**Erosion-Ruissellement**	**ER14**	Diversité végétale

Environnement	**Fertilité du sol**	**F1**	Utilisation des pesticides chimiques
Environnement	**Fertilité du sol**	**F2**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Environnement	**Fertilité du sol**	**F3**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Fertilité du sol**	**F4**	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée
Environnement	**Fertilité du sol**	**F5**	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique
Environnement	**Fertilité du sol**	**F6**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Environnement	**Fertilité du sol**	**F7**	Rotation des cultures
Environnement	**Fertilité du sol**	**F8**	Assolement des cultures
Environnement	**Fertilité du sol**	**F9**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement
Environnement	**Fertilité du sol**	**F10**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Environnement	**Fertilité du sol**	**F11**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Environnement	**Fertilité du sol**	**F12**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Environnement	**Fertilité du sol**	**F13**	Alternance fauche-pâture
Environnement	**Fertilité du sol**	**F14**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Environnement	**Fertilité du sol**	**F15**	Mise en place d'un système agroforestier
Environnement	**Fertilité du sol**	**F16**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)
Environnement	**Fertilité du sol**	**F17**	Intégration des plantes de coupure dans la rotation
Environnement	**Fertilité du sol**	**F18**	Association des cultures dans la même parcelle
Environnement	**Fertilité du sol**	**F19**	Diversité végétale
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF1**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF2**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF3**	Rotation des cultures
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF4**	Assolement des cultures
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF5**	Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale
Environnement	**Efficience de la fertilisation azotée**	**EF6**	Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA1**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA2**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA3**	Diminution de la consommation d'eau
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA4**	Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA5**	Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA6**	Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA7**	Mise en place d'un système agroforestier
Environnement	**Préservation de la ressource eau**	**P-EA8**	Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN1**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN2**	Diminution de la consommation énergétique
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN3**	Production de l'énergie renouvelable
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN4**	Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN5**	Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation
Environnement	**Préservation de l'énergie**	**P-EN6**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)

Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B1**	Utilisation des pesticides chimiques
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B2**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B3**	Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de biocontrôle
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B4**	Assolement des cultures
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B5**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B6**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B7**	Rotation des cultures
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B8**	Alternance fauche-pâture
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B9**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B10**	Mise en place d'un système agroforestier
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B11**	Diversité végétale
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B12**	Diversité animale
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B13**	Présence des espèces végétales anciennes
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B14**	Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B15**	Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B16**	Association des cultures dans la même parcelle
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B17**	Intégration des plantes de coupure dans la rotation
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B18**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B19**	Intégration des plantes (espèces) mellifères
Environnement	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**B20**	Dimension moyenne des parcelles
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR1**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR2**	Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de biocontrôle
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR3**	Utilisation des barrières physiques
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR4**	Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR5**	Utilisation de la technique de faux-semis
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR6**	Rotation des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR7**	Assolement des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR8**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR9**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR10**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR11**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR12**	Mise en place d'un système agroforestier
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR13**	Intégration des plantes de coupure dans la rotation
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR14**	Utilisation de la solarisation
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR15**	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR16**	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR17**	Adaptation de la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive)
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR18**	Adaptation de la densité de la végétation
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR19**	Association des cultures dans la même parcelle

Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR20**	Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, le piégeage massif, etc.)
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR21**	Utilisation du cuivre
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR22**	Utilisation du soufre
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR23**	Utilisation des pesticides chimiques
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR24**	Diversité végétale
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR25**	Intégration des plantes (espèces) mellifères
Protection de la culture	**Contrôle des ravageurs**	**CR26**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA1**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA2**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA3**	Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA4**	Utilisation de la technique de faux-semis
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA5**	Rotation des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA6**	Assolement des cultures
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA7**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA8**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA9**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA10**	Mise en place d'un système agroforestier
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA11**	Utilisation de la solarisation
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA12**	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA13**	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA14**	Adaptation de la densité de la végétation
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA15**	Association des cultures dans la même parcelle
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA16**	Utilisation des pesticides chimiques
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA17**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA18**	Alternance fauche-pâture
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA19**	Diversité végétale
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA20**	Adaptation de la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive)
Protection de la culture	**Contrôle des adventices**	**CA21**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Santé	**Bien-être animal**	**BE1**	Utilisation des pesticides chimiques
Santé	**Bien-être animal**	**BE2**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Santé	**Bien-être animal**	**BE3**	Diversité végétale
Santé	**Bien-être animal**	**BE4**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Santé	**Bien-être animal**	**BE5**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN)
Santé	**Bien-être animal**	**BE6**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Santé	**Bien-être animal**	**BE7**	Mise en place des infrastructures agroécologiques
Santé	**Bien-être animal**	**BE8**	Mise en place d'un système agroforestier
Santé	**Bien-être animal**	**BE9**	Protection des pâturages
Santé	**Bien-être animal**	**BE10**	Garantie le confort des bâtiments
Santé	**Bien-être animal**	**BE11**	Préservation préventive de la santé des animaux

Santé	**Bien-être animal**	**BE12**	Maintien de l'autonomie alimentaire
Société	**Implication sociale**	**IS1**	Renforcement de la communication entre les agriculteurs
Société	**Implication sociale**	**IS2**	Intégration dans des structures associatives
Société	**Implication sociale**	**IS3**	Embauche de la main d'œuvre
Société	**Implication sociale**	**IS4**	Développement des circuits courts (la vente directe)
Société	**Implication sociale**	**IS5**	Développement de l'agrotourisme
Société	**Implication sociale**	**IS6**	Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation
Société	**Implication sociale**	**IS7**	Intégration ou participation dans des organisations et/ou des institutions de conseil et de démonstration
Société	**Implication sociale**	**IS8**	Transformation des produits sur l'exploitation
Société	**Implication sociale**	**IS9**	Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente
Société	**Implication sociale**	**IS10**	Diversification clientèle
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P1**	Utilisation des pesticides chimiques
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P2**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P3**	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P4**	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P5**	Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P6**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P7**	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P8**	Préservation préventive de la santé des animaux
Société	**Sécurité nutritionnelle des produits**	**SN-P9**	Maintien de l'autonomie alimentaire
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT1**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT2**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT3**	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT4**	Dimension moyenne des parcelles
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT5**	Diminution du rythme de travail difficile
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT6**	Présence d'un bon environnement de travail
Société	**Intensité et pénibilité du travail**	**I-PT7**	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)

Annexe 6. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des modes et systèmes de production, et productions agricoles

(Trabelsi, 2015)

	Polyculture en plein champ - Elevage								
						Serriculture	Elevage		
	Polyculture en plein champ								
Paramètres (Techniques agricoles)	**Céréales**	**Oléoprotéagineux**	**Arboriculture**	**Viticulture**	**Cultures industrielles**	**Maraichage**	**Plantes ornementales**	**Prairies (fourrage)**	**Cheptel**
Stockage et traitement des eaux usées Recyclage des déchets non organiques	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Stockage et traitement des effluents liquides d'élevage									X
Utilisation du cuivre et/ou du soufre	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Utilisation des pesticides chimiques	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	X	X	X	X (1)	X	XX	XX	(2)	
Intégration des plantes (espèces mellifères)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Alternance fauche-pâture								X	X
Mise en place des infrastructures agroécologiques	X	X	X	X	X	X	X	X	
Assolement des cultures	X	X			X	XX	XX	(3)	
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	X	X			X	XX	XX		
Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)			X	X					
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Dimension moyenne des parcelles	X	X	X	X	X	X	X		
Mise en place des infrastructures antiérosives	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mise en place d'un système agroforestier	X	X	X	X	X	X	X	X (4)	
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Rotation des cultures	X (5)	X (6)			X	XX (7)	XX (8)		
Diminution de la consommation d'eau	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse	X	X	X	X	X	X	X	X	
Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Diminution de la consommation énergétique	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Production de l'énergie renouvelable	X (9)	X (10)	X (11)	X (12)	X (13)	XX (14)	XX (12)	X (15)	X (15)
Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Utilisation de la technique de lutte biologique et/ ou des produits de biocontrôle	X (16)	X (16)	X	X	X	XX	XX	X	

Utilisation des techniques alternatives: la prophylaxie, les plantes pièges, le piégeage massif, etc.	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Diversité végétale	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Diversité animale									X
Présence des espèces végétales anciennes	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition									X
Utilisation des barrières physiques			X	X		XX	XX		
Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Utilisation de faux-semis	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Intégration des plantes de coupure dans la rotation	X	X			X	XX	XX		
Utilisation de la solarisation						XX			
Adaptation de la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Adaptation de la densité de la végétation	X	X	X	X	X	XX	XX	X	
Association des cultures dans la même parcelle	X	X			X	XX	XX	X	
Protection des pâturages								X	x
Garantie le confort des bâtiments									X
Préservation préventive de la santé des animaux									X
Maintenir l'autonomie alimentaire								X	X
Renforcement de la communication entre les agriculteurs	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Intégration dans des structures associatives	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Embauche de la main d'œuvre	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Développement des circuits courts (la vente directe)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Développement de l'agrotourisme (tourisme agricole)	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Intégration ou participation dans des organisations de conseil et de démonstration	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Transformation des produits sur l'exploitation	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Diversification clientèle	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Diminution du rythme de travail difficile	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X
Présence d'un bon environnement de travail	X	X	X	X	X	XX	XX	X	X

X : Action pratiquée en Serriculture également

(1) Utilisation des légumineuses comme cultures d'enherbement (couverture interligne).

(2) Les prairies = des cultures de plantes fourragères, principalement composée de graminées et de légumineuses.

(3) Les exploitants qui détiennent plus de 75 % en herbe (prairie naturelle, prairie temporaire, jachère) et moins de 30 ha de SAU consacrées à des cultures autres que de l'herbe ne sont pas concernés par l'assolement. (Source: *http://www.cerfrance-alliancecentre.fr/agriculteurs/news/633-assolements-2015-ce-que-la-pac2015-va-changer*).

(4) Association arbres fruitiers de haute tige + prairies = Pré-verger.
(5) Généralement il n'existe pas de rotations avec des céréales seulement. Il existe toujours au moins une légumineuse (ou autre culture oléo-protéagineuse comme le colza par exemple) dans la rotation.
(6) On peut appliquer des rotations avec des cultures Oléprotéagineux seulement (sans légumineuses et céréales).
(7) On peut appliquer la rotation des cultures maraichères seulement mais à condition que les cultures n'appartiennent pas à la même famille botanique ou au même type. Exemple: les légumes fruits, les légumes feuilles, les légumes racines et les légumes graines.
(8) Généralement il n'y a pas de rotations avec des plantes ornementales seulement, il faut intégrer d'autres cultures.
(9) Valorisation par combustion des pailles des céréales ; Production du carburant "le bioéthanol" à partir de céréales.
(10) Cultures énergétiques ; Extraction des huiles ; Production du carburant "le biodiesel" à partir des huiles des oléagineux (colza, etc.).
(11) Production du bois ; Production du carburant "le bioéthanol" à partir des matières cellulosiques (bois, feuilles, tiges des plantes ou des déchets).
(12) Production du carburant "le bioéthanol" à partir des matières cellulosiques (bois, feuilles, tiges des plantes ou des déchets).
(13) Ex Betterave: Transformation du jus de diffusion, obtenu à partir des betteraves, en alcool (filière du biocarburant).
(14) La mise en place des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité.
(15) La mise en place des panneaux solaires ou des éoliennes par exemple: les éoliennes permettent de diminuer la consommation d'énergie au niveau des salles de traite, l'éclairage des bâtiments, etc ; la présence du fourrage (cultures énergétiques).
(16) Utilisation des agents biologiques de contrôle ; Utilisation des cultures intermédiaires: attraction des auxiliaires des cultures.

Annexe 7. Classement des paramètres (techniques agricoles) en fonction des niveaux Exploitation et Parcelle (Trabelsi, 2015)

Indicateurs	Codes	Paramètres	Paramètres "Exploitation"	Paramètres "Parcelle"
Pollution des eaux et des sols	**P1**	Stockage et traitement des eaux usées Stockage et traitement des effluents liquides d'élevage Recyclage des déchets non organiques	x	
	P2	Utilisation du cuivre		x
	P3	Utilisation du soufre		x
	P4	Utilisation des pesticides chimiques		x
	P5	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	P6	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
	P7	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	P8	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée		x
	P9	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	P10	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	P11	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	P12	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	P13	Rotation des cultures	x	
	P14	Intégration des plantes de coupure dans la rotation	x	
Pollution de l'air	**PA1**	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	PA2	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	x	
	PA3	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	PA4	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	
Erosion-Ruissellement	**ER1**	Assolement des cultures	x	
	ER2	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	x	
	ER3	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	ER4	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	ER5	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	ER6	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	ER7	Rotation des cultures	x	
	ER8	Dimension moyenne des parcelles	x	
	ER9	Mise en place des infrastructures antiérosives	x	

	ER10	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	ER11	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	ER12	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	
	ER13	Intégration des plantes de coupure dans la rotation	x	
	ER14	Diversité végétale	x	
Fertilité du sol	**F1**	Utilisation des pesticides chimiques		x
	F2	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	F3	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	F4	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée		x
	F5	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique		x
	F6	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
	F7	Rotation des cultures	x	
	F8	Assolement des cultures	x	
	F9	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	x	
	F10	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	F11	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	F12	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	F13	Alternance fauche-pâture	x	
	F14	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	F15	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	F16	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	
	F17	Intégration des plantes de coupure dans la rotation	x	
	F18	Association des cultures dans la même parcelle	x	
	F19	Diversité végétale	x	
Efficience de la fertilisation azotée	**EF1**	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
	EF2	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	EF3	Rotation des cultures	x	
	EF4	Assolement des cultures	x	
	EF5	Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	x	
	EF6	Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	x	
Préservation de la ressource eau	**PEA1**	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	PEA2	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	PEA3	Diminution de la consommation d'eau	x	
	PEA4	Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	x	

	PEA5	Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie	x	
	PEA6	Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse	x	
	PEA7	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	PEA8	Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation	x	
Préservation de l'énergie	**PEN1**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	x	
	PEN2	Diminution de la consommation énergétique	x	
	PEN3	Production de l'énergie renouvelable	x	
	PEN4	Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	x	
	PEN5	Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation	x	
	PEN6	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	
Biodiversité et Ressources locales du territoire	**B1**	Utilisation des pesticides chimiques		x
	B2	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	B3	Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de biocontrôle	x	
	B4	Assolement des cultures	x	
	B5	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	B6	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	B7	Rotation des cultures	x	
	B8	Alternance fauche-pâture	x	
	B9	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	B10	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	B11	Diversité végétale	x	
	B12	Diversité animale	x	
	B13	Présence des espèces végétales anciennes	x	
	B14	Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	x	
	B15	Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition	x	
	B16	Association des cultures dans la même parcelle	x	
	B17	Intégration des plantes de coupure dans la rotation	x	
	B18	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	B19	Intégration des plantes (espèces) mellifères	x	
	B20	Dimension moyenne des parcelles	x	
Contrôle des ravageurs	**CR1**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	CR2	Utilisation de la lutte biologique et/ ou des produits de biocontrôle	x	
	CR3	Utilisation des barrières physiques	x	
	CR4	Présence des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	x	

	CR5	Utilisation de la technique de faux-semis	x	
	CR6	Rotation des cultures	x	
	CR7	Assolement des cultures	x	
	CR8	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	CR9	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	CR10	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	CR11	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	CR12	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	CR13	Intégration des plantes de coupure dans la rotation	x	
	CR14	Utilisation de la solarisation	x	
	CR15	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée		x
	CR16	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique		x
	CR17	Adaptation de la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive)	x	
	CR18	Adaptation de la densité de la végétation	x	
	CR19	Association des cultures dans la même parcelle	x	
	CR20	Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges…)	x	
	CR21	Utilisation du cuivre		x
	CR22	Utilisation du soufre		x
	CR23	Utilisation des pesticides chimiques		x
	CR24	Diversité végétale	x	
	CR25	Intégration des plantes (espèces) mellifères	x	
	CR26	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
Contrôle des adventices	**CA1**	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	CA2	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	
	CA3	Présence des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	x	
	CA4	Utilisation de la technique de faux-semis	x	
	CA5	Rotation des cultures	x	
	CA6	Assolement des cultures	x	
	CA7	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	CA8	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	CA9	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	CA10	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	CA11	Utilisation de la solarisation	x	
	CA12	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée		x

	CA13	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique		x
	CA14	Adaptation de la densité de la végétation	x	
	CA15	Association des cultures dans la même parcelle	x	
	CA16	Utilisation des pesticides chimiques		x
	CA17	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	CA18	Alternance fauche-pâture	x	
	CA19	Diversité végétale	x	
	CA20	Adaptation de la date de semis et/ou de plantation (précoce ou tardive)	x	
	CA21	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
Bien-être animal	**BE1**	Utilisation des pesticides chimiques		x
	BE2	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	BE3	Diversité végétale	x	
	BE4	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
	BE5	Intégration des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates	x	
	BE6	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	BE7	Mise en place des infrastructures agroécologiques	x	
	BE8	Mise en place d'un système agroforestier	x	
	BE9	Protection des pâturages	x	
	BE10	Garantie le confort des bâtiments	x	
	BE11	Préservation préventive de la santé des animaux	x	
	BE12	Maintien de l'autonomie alimentaire	x	
Implication sociale	**IS1**	Renforcement de la communication entre les agriculteurs	x	
	IS2	Intégration dans des structures associatives	x	
	IS3	Embauche de la main d'œuvre	x	
	IS4	Développement des circuits courts (la vente directe)	x	
	IS5	Développement de l'agrotourisme	x	
	IS6	Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation	x	
	IS7	Intégration ou participation dans des organisations et/ou des institutions de conseil	x	
	IS8	Transformation des produits sur l'exploitation	x	
	IS9	Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente	x	
	IS10	Diversification clientèle	x	
Sécurité nutritionnelle des produits	**SNP1**	Utilisation des pesticides chimiques		x
	SNP2	Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio, naturels)		x
	SNP3	Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée		x

	SNP4	Gestion raisonnée de la fertilisation potassique		x
	SNP5	Présence des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures	x	
	SNP6	Gestion raisonnée de la fertilisation azotée		x
	SNP7	Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	x	
	SNP8	Préservation préventive de la santé des animaux	x	
	SNP9	Maintien de l'autonomie alimentaire	x	
Intensité et pénibilité du travail	**IPT1**	Absence du travail du sol et/ou travail superficiel sans retournement	x	
	IPT2	Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	x	
	IPT3	Enherbement (couverture des inter-rangs sous cultures ligneuses pérennes)	x	
	IPT4	Dimension moyenne des parcelles	x	
	IPT5	Diminution du rythme de travail difficile	x	
	IPT6	Présence d'un bon environnement de travail	x	
	IPT7	Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	x	

Annexe 8. Equations des indicateurs au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2015)

Mode de production: Plein champ & Système de production: Polyculture

Indicateurs	Cultures annuelles (sans cultures légumières)	Cultures annuelles (avec cultures légumières)	Cultures pérennes	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Prairies	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Prairies	Cultures pérennes & Prairies	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies
Pollution des eaux et des sols	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P10 + P11 + P12	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P10 + P11 + P12	P1 + P7 + P9+ P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9+ P10 + P11 + P12 + P13 + P14
Pollution de l'air	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4
Erosion-Ruissellement	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER2 + ER3 + ER5 + ER6 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	**ER1** + ER2 + ER3 + ER5 + ER6 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14
Fertilité du sol	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F9 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + **F8** + F9 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19
Efficience de la fertilisation azotée	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + **EF4** + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6
Préservation de la ressource eau	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7+ PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8

Préservation de l'énergie	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6
Biodiversité et Ressources locales du territoire	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B6 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + **B4** + B6 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20
Contrôle des ravageurs	CR2 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2+ CR3 + CR4 + CR5 + CR9 + CR10+ CR11 + CR12 + CR17 + CR18 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3+ CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + **CR7**+ CR9 + CR10+ CR11 + CR12 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10+ CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7+ CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25
Contrôle des adventices	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA8 + CA9+ CA10 + CA14 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + **CA6** + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20
Implication sociale	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10
Sécurité nutritionnelle des produits	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7
Intensité et pénibilité du travail	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7

Mode de production: Plein champ & Système de production: Polyculture & Elevage

Indicateurs	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Elevage	Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Prairies & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Prairies & Elevage	Cultures pérennes & Prairies & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies & Elevage
Pollution des eaux et des sols	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P10 + P11 + P12	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P10 + P11 + P12	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14
Pollution de l'air	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4
Erosion-Ruissellement	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER2 + ER3 + ER5 + ER6 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	**ER1** + ER2 + ER3 + ER5 + ER6 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER5 + ER6 + ER7 + ER8 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14
Fertilité du sol	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F9 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + **F8** + F9 + F11 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19
Efficience de la fertilisation azotée	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4+ EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4+ EF5 + EF6	EF2 + **EF4** + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6
Préservation de la ressource eau	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7+ PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA2 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8

Préservation de l'énergie	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6
Biodiversité et Ressources locales du territoire	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B6 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19+ B20	B3 + B4 + B5 + B7 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19+ B20	B3 + **B4** + B6 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20	B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19 + B20
Contrôle des ravageurs	CR2 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR17 + CR18 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + **CR7** + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR9 + CR10 + CR11 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25
Contrôle des adventices	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17+ CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + **CA6** + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20
Bien-être animal	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9+ BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9+ BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12
Implication sociale	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10

Sécurité nutritionnelle des produits	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9
Intensité et pénibilité du travail	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT3 + IPT4 + IPT5 + IPT6 + IPT7

ER1, **F8**, **EF4, B4, CR7, CA6**: dans cette catégorie de productions, on tient compte du paramètre "Assolement des cultures" s'il s'agit des prairies **temporaires** seulement.

Système de production: Elevage

Mode de production: Sous-abris (sous-serre) & Systèmes de production: Polyculture et Polyculture & Elevage

	Elevage	**Polyculture**		**Polyculture & Elevage**	
Indicateurs	**Prairies & Elevage**	**Cultures annuelles (légumières)**	**Cultures annuelles (légumières) & Prairies**	**Cultures annuelles (légumières) & Elevage**	**Cultures annuelles (légumières) & Prairies & Elevage**
Pollution des eaux et des sols	P1 + P11 + P12	P1 + P7 + P9 + P11 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P13 + P14	P1 + P7 + P9 + P11 + P13 + P14
Pollution de l'air	PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4	PA1 + PA2 + PA4	PA1 + PA2 + PA3 + PA4
Erosion-Ruissellement	ER2 + ER6 + ER9 + ER10 + ER11 + ER12 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER12 + ER13 + ER14	ER1 + ER2 + ER3 + ER4 + ER6 + ER7 + ER11 + ER12 + ER13 + ER14
Fertilité du sol	F9 + F12 + F13 + F14 + F15 + F16 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F16 + F17 + F18 + F19	F3 + F7 + F8 + F9 + F10 + F12 + F13 + F15 + F16 + F17 + F18 + F19
Efficience de la fertilisation azotée	EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6	EF2 + EF3 + EF4 + EF5 + EF6
Préservation de la ressource eau	PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA6 + PEA7 + PEA8	PEA1+ PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA7 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA8	PEA1 + PEA3 + PEA4 + PEA5 + PEA7 + PEA8
Préservation de l'énergie	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6	PEN1 + PEN2 + PEN3 + PEN4 + PEN5 + PEN6

Biodiversité et Ressources locales du territoire	B3 + B8 + B9 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B19	B3 + B4 + B5 + B7 + B11 + B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19	B3 + B4 + B5 + B7 + B10 + B11+ B13 + B14 + B16 + B17 + B18 + B19	B3 + B4 + B5 + B7 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19	B3 + B4 + B5 + B7 + B8 + B10 + B11 + B12 + B13 + B14 + B15 + B16 + B17 + B18 + B19
Contrôle des ravageurs	CR2 + CR4 + CR5 + CR10 + CR11 + CR12 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5+ CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25	CR2 + CR3 + CR4 + CR5 + CR6 + CR7 + CR8 + CR10 + CR12 + CR13 + CR14 + CR17 + CR18 + CR19 + CR20 + CR24 + CR25
Contrôle des adventices	CA2 + CA3 + CA4 + CA9 + CA10 + CA14 + CA15 + CA18 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA19 + CA20	CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA9 + CA10 + CA11 + CA14 + CA15 + CA17 + CA18 + CA19 + CA20
Bien-être animal	BE3 + BE6 + BE7 + BE8 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	-	-	BE3 + BE5 + BE6 + BE9 + BE10 + BE11 + BE12	BE3 + BE5 + BE6 + BE8 + BE9 + BE10+ BE11 + BE12
Implication sociale	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10	IS1 + IS2+ IS3 + IS4 + IS5 + IS6 + IS7 + IS8 + IS9 + IS10
Sécurité nutritionnelle des produits	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9	SNP5 + SNP7 + SNP8 + SNP9
Intensité et pénibilité du travail	IPT1 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT5 + IPT6 + IPT7	IPT1 + IPT2 + IPT5 + IPT6 + IPT7

Annexe 9. Equations des indicateurs au niveau "Parcelle" (Trabelsi, 2015)

	Pollution des eaux et des sols	**Fertilité du sol**	**Efficience de la fertilisation azotée**	**Biodiversité et Ressources locales du territoire**	**Contrôle des ravageurs**	**Contrôle des adventices**	**Bien-être animal**	**Sécurité nutritionnelle des produits**
Tout type de production agricole (Plein champ ou sous-abris)	P2+ P3 + P4 + P5 + P6 +P8	F1 + F2 + F4 + F5 + F6	EF1	B1 + B2	CR1 + CR15 + CR16 + CR21 + CR22 + CR23 + CR26	CA1 + CA12 + CA13 + CA16 CA21	BE1 + BE2 + BE4	SNP1 + SNP2 + SNP3 + SNP4 + SNP6

Annexe 10. Modes d'identification des paramètres des indicateurs (sauf IRSA, IRTE et indicateurs économiques) (Trabelsi, 2015)

Paramètres	Mode d'identification	Références
Utilisation du cuivre	Quantités de cuivre utilisées par culture (kg/ha)	TRABELSI M.
Utilisation du soufre	Quantités de soufre utilisées par culture (kg/ha)	TRABELSI M.
Utilisation des pesticides chimiques	IFT moyen pondéré par hectare et par culture	TRABELSI M.
Utilisation des pesticides biologiques (des produits bio)	IFT bio moyen pondéré par hectare et par culture	TRABELSI M.
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	Bilan CORPEN à l'échelle de la parcelle Excédent azoté (kg/ha/an) par culture = Entrées - Sorties	Méthode IDEA
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	Bilan CORPEN à l'échelle de la parcelle Excédent phosphaté (kg/ha/an) par culture = Entrées - Sorties	TRABELSI M.
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique	Bilan CORPEN à l'échelle de la parcelle Excédent potassique (kg/ha/an) par culture = Entrées - Sorties	TRABELSI M.
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	Pourcentage de la SAU sur lequel l'analyse est faite	TRABELSI M.
Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Stockage et traitement des eaux usées **Stockage et traitement des effluents liquides d'élevage** **Recyclage des déchets non organiques**	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	Pourcentage de la SAU occupé par les légumineuses et/ou les CIPAN dans l'assolement	Méthode IDEA
Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture) OU Enherbement	Pourcentage du sol couvert par rapport à la SAU **OU** enherbé par rapport à la surface de la culture concernée	Méthode DIALECTE & TRABELSI M.
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	Présence d'une production du compost	Méthode IDEA

	Pourcentage de la matière organique compostée Pourcentage de la SAU occupé par les surfaces amendées en matières organiques (compost, engrais organiques, engrais verts, fumier, farines, etc.)	
Mise en place des infrastructures agroécologiques	Pourcentage de la SAU occupé par des infrastructures agroécologiques 1 arbre isolé = 1 are ; Haie, lisière = 10 m x longueur Bande enherbée = largeur x longueur…	TRABELSI M.
Rotation des cultures	Durée de la rotation Présence d'une succession des cultures nettoyantes avec des cultures salissantes Pourcentage de la SAU occupé par les légumineuses Pourcentage de la SAU occupé par les grandes cultures (céréales et/ou oléagineux) Pourcentage de la SAU occupé par les prairies temporaires (surfaces fourragères) de longue ou courte durée	TRABELSI M.
Intégration des plantes de coupure dans la rotation	Pourcentage de la SAU occupé par les plantes de coupure	TRABELSI M.
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel	Présence d'un labour Absence d'un travail du sol Présence d'un travail du sol superficiel sans retournement et sans labour OU avec labour Pourcentage du sol travaillé superficiellement sans retournement par rapport à la SAU	Méthode IDEA & TRABELSI M.
Mise en place d'un système agroforestier	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	Pourcentage de la SAU désherbé mécaniquement (et/ou manuellement)	TRABELSI M.
Assolement des cultures	Pourcentage de la SAU assolable [SAU - (prairies naturelles permanentes + cultures pérennes)] Pourcentage de la surface assolable occupé par la culture la plus significative	Méthode IDEA & TRABELSI M.
Dimension moyenne des parcelles	Taille moyenne des parcelles en hectare (SAU / nombre de parcelles)	Méthode DIALECTE
Mise en place des infrastructures antiérosives	Pourcentage de la SAU occupé par des infrastructures antiérosives	TRABELSI M.

Diversité végétale	Nombre d'espèces annuelles et/ou pérennes cultivées Nombre de variétés cultivées pour chaque espèce annuelle et/ou pérenne Pourcentage de la SAU occupé par des prairies permanentes et/ou temporaires de + de 5 ans	Méthode IDEA
Alternance fauche-pâture	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Association des cultures dans la même parcelle	Pourcentage de la SAU occupé par des cultures associées	TRABELSI M.
Diminution de la consommation d'eau	Volume d'eau consommé (m3/an) sur l'exploitation	Méthode DIALECTE
Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	Pourcentage des surfaces irriguées par une irrigation localisée par rapport à la surface totale irriguée	Méthode IDEA
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse	Nombre de variétés plus adaptées à la sécheresse	TRABELSI M.
Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Diminution de la consommation énergétique	Consommation totale d'énergie: Equivalent litre de fioul par hectare SAU (EFH) EFH = ∑ [fioul (Den Hollander *et al.*) + azote (Den Hollander *et al.*) + électricité (Den Hollander *et al.*) + gaz (Den Hollander *et al.*) + aliments concentrés achetés (Den Hollander *et al.*)] / 47*SAU Avec : 1 Kg fioul = 47 MJ ; 1 unité d'azote = 56 MJ ; 1 kWh= 9,5 MJ ; 1 Kg gaz = 51 MJ ; 1 kg aliments concentrés = 4 MJ	Méthode IDEA
Production de l'énergie renouvelable	Présence d'une production des cultures énergétiques et de biomasse Pourcentage de la SAU dédiée aux cultures énergétiques et à la biomasse	TRABELSI M.
Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Utilisation de la lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle	Pourcentage de la SAU sur lequel la lutte biologique est pratiquée (et/ou des produits de bio-contrôle sont utilisés)	TRABELSI M.
Diversité animale	Nombre d'espèces et de races animales élevées	Méthode IDEA

Présence des espèces végétales anciennes	Nombre des espèces végétales anciennes	TRABELSI M.
Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	Nombre de variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	TRABELSI M.
Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition	Nombre de races animales régionales rares ou en voie de disparition	TRABELSI M.
Intégration des plantes mellifères	Nombre d'espèces intégrées	TRABELSI M.
Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux agresseurs des cultures	Nombre de variétés végétales (et/ou de porte-greffes) utilisées	TRABELSI M.
Utilisation de faux-semis	Pourcentage de la SAU sur lequel le faux-semis est pratiqué	TRABELSI M.
Adaptation de la date de semis (et/ou de plantation)	Pourcentage de la SAU (surfaces des cultures) dont la date est adaptée	TRABELSI M.
Adaptation de la densité de la végétation	Pourcentage de la SAU (surfaces des cultures) dont la densité est adaptée	TRABELSI M.
Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, le piégeage massif...)	Nombre de techniques utilisées	TRABELSI M.
Utilisation des barrières physiques	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Utilisation de la solarisation	Pourcentage de la superficie sur laquelle la solarisation est pratiquée par rapport à la surface totale des cultures légumières	TRABELSI M.
Protection des pâturages	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Garantie le confort des bâtiments	Présence d'un confort des bâtiments: Des bâtiments suffisamment grands, ventilés, propres, etc. Aménagement du milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels Augmentation de la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels	TRABELSI M.
Préservation préventive de la santé des animaux	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Maintien de l'autonomie alimentaire	Présence d'une production du fourrage et/ou concentré sur l'exploitation Pourcentage du fourrage et/ou du concentré produits sur l'exploitation par rapport à la quantité totale consommée par le bétail	TRABELSI M.

Renforcement de la communication entre agriculteurs	Présence d'une communication entre agriculteurs: Organisation des rencontres Mise en commun des équipements et des services Travail en réseau, etc.	TRABELSI M.
Intégration dans des structures associatives	Nombre des structures associatives	TRABELSI M.
Embauche de la main d'œuvre	Pourcentage de la main d'œuvre non familiale embauchée par rapport à la main d'œuvre totale	TRABELSI M.
Développement de l'agrotourisme	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Développement de la vente directe	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation	Répondre par Oui ou Non	Méthode IDEA
Intégration ou participation dans des organisations et /ou des institutions de conseil et de démonstration	Nombre des organisations et/ou des institutions	TRABELSI M.
Transformation des produits sur l'exploitation	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente	Nombre de débouchés et/ou de réseaux (au-delà d'un seul débouché et/ou réseau)	TRABELSI M.
Diversification des clients	Part du chiffre d'affaire achetée par le plus gros client	Méthode IDEA
Diminution du rythme de travail difficile	Répondre par Oui ou Non	TRABELSI M.
Présence d'un bon environnement de travail	Présence des conditions du travail pas trop difficiles (Vivre sur le lieu de travail, ou à proximité de l'exploitation ; Absence de bruit, de poussière, etc.) Bonne organisation du travail ; Sécurité des installations ; Nettoyage du matériel après utilisation ; Utilisation du matériel de sécurité (masques, gans, etc.)	TRABELSI M.

Annexe 11. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2015)

Paramètres	Mode de notation	Notes attribuées
Analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne culturale	Si Non	0
	Si entre 0 et 25% SAU	1
	Si entre 25% et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si ≥ 75% SAU	4
Fractionnement des apports azotés en fonction des besoins des cultures	Si Non	0
	Si Oui	1
Stockage et traitement des eaux usées	Si Non	0
	Si Oui: 1 point par option	1
Stockage et traitement des effluents liquides d'élevage		
Recyclage des déchets non organiques		
Intégration des légumineuses et/ou des CIPAN	Si Non	0
	Légumineuses ou CIPAN	
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 15% SAU	3
	Si ≥ 15% SAU	4
Couverture permanente du sol (interligne et/ou interculture)	Si Non	0
	Si entre 0 et 25% SAU	1
	Si entre 25% et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si entre 75 % et 100% SAU	4
	Si = 100% SAU	5
Enherbement	Si Non	0
	Si entre 0 et 25% de la surface de la culture concernée	1
	Si entre 25% et 50%	2
	Si entre 50% et 75%	3

	Si entre 75 % et 100%	4
	Si = 100%	5
Utilisation des fertilisants (engrais et amendements) organiques	Si Non	0
	Absence d'une production du compost	0
	Si < 50 %	1
	Si ≥ 50 %	2
	Si entre 0 et 25% SAU	1
	Si entre 25% et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si ≥ 75 % SAU	4
Mise en place des infrastructures agroécologiques	Si Non	0
	Si entre 0 et 2% SAU	1
	Si entre 2% et 4% SAU	2
	Si entre 4% et 6% SAU	3
	Si entre 6% et 8% SAU	4
	Si entre 8% et 10% SAU	5
	Si ≥ 10% SAU	6
Rotation des cultures	Durée	
	Si 2 ans	1
	Si 3 ans	2
	Si 4 ans	3
	Si 5 ans	4
	Si 6 ans	5
	Si ≥7 ans	6
	Absence de succession cultures salissantes et nettoyantes	0
	Présence de succession cultures salissantes et nettoyantes	1
	Légumineuses:	
	Exploitation en Polyculture	
	Si 0%	0
	Si > 40% SAU	1
	Si entre 0 et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 20% SAU	3
	Si entre 20% et 30% SAU	4
	Si entre 30% et 40% SAU	5
	Si = 40% SAU	

	Exploitation en Polyculture-Elevage	6
	Si 0%	
	Si > 20% SAU	0
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 15% SAU	3
	Si entre 15% et 20% SAU	4
	Si = 20% SAU	5
	Grandes cultures	6
	Si 0%	
	Si > 40% SAU	0
	Si entre 0 et 10% SAU	1
	Si entre 10% et 20% SAU	2
	Si entre 20% et 30% SAU	3
	Si entre 30% et 40% SAU	4
	Si = 40% SAU	5
	Prairies temporaires longue ou courte durée	6
	Exploitation en Polyculture	
	Si 0%	
	Si > 20% SAU	0
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 15% SAU	3
	Si entre 15% et 20% SAU	4
	Si = 20% SAU	5
	Exploitation en Polyculture-Elevage	6
	Si 0%	0
	Si > 40% SAU	1
	Si entre 0 et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 20% SAU	3
	Si entre 20% et 30% SAU	4
	Si entre 30% et 40% SAU	5
	Si = 40% SAU	6

Intégration des plantes de coupure dans la rotation	Si Non	0
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 15% SAU	3
	Si ≥15% SAU	4
Absence du travail du sol et/ou travail superficiel	Si labour	0
	Si absence du travail du sol	5
	Si travail du sol superficiel sans retournement et en l'absence du labour	
	Si entre 0 et 30% SAU	4
	Si entre 30 % et 50% SAU	3
	Si entre 50% et 80% SAU	2
	Si ≥ 80% SAU	1
	Si travail du sol superficiel sans retournement en présence du labour	
	Si entre 0 et 30% SAU	1
	Si entre 30 % et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 80% SAU	3
	Si ≥ 80% SAU	4
Mise en place d'un système agroforestier	Si Non	0
	Si Oui	1
Utilisation du désherbage mécanique (et/ou manuel)	Indicateurs *Contrôle des adventices* & *Fertilité du sol*	
	Si désherbage chimique ou thermique	0
	Si désherbage mécanique et/ou manuel	
	Si entre 0 et 25% SAU	1
	Si entre 25% et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si entre 75 % et 100% SAU	4
	Si ≈ 100% SAU	5
	Indicateurs *Erosion-Ruissellement* & *Intensité et pénibilité du travail*	
	Si désherbage chimique ou thermique	0
	Si désherbage mécanique et/ou manuel	
	Si entre 0 et 25% SAU	5
	Si entre 25% et 50% SAU	4
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si entre 75 % et 100% SAU	2
	Si ≈ 100% SAU	1

	Indicateur 'Préservation de l'énergie'	0
	Si désherbage chimique ou thermique	5
	Si désherbage manuel	
	Si désherbage mécanique	
	Si entre 0 et 25% SAU	5
	Si entre 25% et 50% SAU	4
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si entre 75 % et 100% SAU	2
	Si ≈ 100% SAU	1
	Indicateur *Pollution de l'air*	
	Si désherbage chimique ou thermique	0
	Si désherbage manuel	5
	Si désherbage mécanique	
	Si entre 0 et 25% SAU	5
	Si entre 25% et 50% SAU	4
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si entre 75 % et 100% SAU	2
	Si ≈ 100% SAU	1
Assolement des cultures	La surface assolable	
	Si entre 0 et 25% SAU	1
	Si entre 25% et 50% SAU	2
	Si entre 50% et 75% SAU	3
	Si ≥ 75 % SAU	4
	La culture la plus significative	
	Si entre 0 et 20% de la surface assolable	8
	Si entre 20% et 25%	7
	Si entre 25% et 30%	6
	Si entre 30% et 35%	5
	Si entre 35% et 40%	4
	Si entre 40% et 45%	3
	Si entre 45% et 50%	2
	Si ≥50 %	1
Dimension moyenne des parcelles	Si ≤ 5 ha	4
	Si entre 5 ha et 7,5 ha	3
	Si entre 7,5 ha et 10 ha	2

	Si ≥ 10 ha	1
Mise en place des infrastructures antiérosives	Si Non	0
	Si entre 0 et 2% SAU	1
	Si entre 2% et 4% SAU	2
	Si entre 4% et 6% SAU	3
	Si entre 6% et 8% SAU	4
	Si ≥ 8% SAU	5
Diversité végétale	1 point par espèce annuelle cultivée	1
	1 point par espèce pérenne cultivée	1
	1 point par variété cultivée	1
	Les prairies permanentes et/ou temporaires de + de 5 ans	
	Si 0 %	0
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 15% SAU	2
	Si entre 15% et 25%	3
	Si ≥ 25% SAU	4
Alternance fauche-pâture	Si Non	0
	Si Oui	1
Association des cultures dans la même parcelle	Si Non	0
	Si entre 0 et 10% SAU	1
	Si entre 10% et 20% SAU	2
	Si entre 20% et 30% SAU	3
	Si ≥ 30% SAU	4
Diminution de la consommation d'eau	Si ≥ 50 000 m3 / exploitation	1
	Si entre 40 000 et 50 000 m3 / exploitation	2
	Si entre 30 000 et 40 000 m3 / exploitation	3
	Si entre 20 000 et 30 000 m3 / exploitation	4
	Si entre 10 000 et 20 000 m3 / exploitation	5
	Si ≤ 10 000 m3 / exploitation	6

Utilisation d'un dispositif d'irrigation économique	Si Non (Pas d'irrigation)	4
	Si entre 0 et 25% des surfaces irriguées	1
	Si entre 25% et 50% des surfaces irriguées	2
	Si ≥ 50% des surfaces irriguées	3
Utilisation des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie	Si Non	0
	Si Oui	1
Présence des variétés plus adaptées à la sécheresse	1 point par variété plus adaptée à la sécheresse cultivée	1
Utilisation d'un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation	Si Non	0
	Si Oui	1
Diminution de la consommation énergétique	Si entre 0 et 100 l/ha	11
	Si entre 100 et 200 l/ha	10
	Si entre 200 et 300 l/ha	9
	Si entre 300 et 400 l/ha	8
	Si entre 400 et 500 l/ha	7
	Si entre 500 et 600 l/ha	6
	Si entre 600 et 700 l/ha	5
	Si entre 700 et 800 l/ha	4
	Si entre 800 et 900 l/ha	3
	Si entre 900 et 1000 l/ha	2
	Si ≥ 1000 l/ha	1
Production de l'énergie renouvelable	Production des cultures énergétiques et de biomasse	
	Si Non	0
	Si Oui	1
	La surface dédiée aux cultures énergétiques et à la biomasse	
	Si 0 %	0
	Si entre 0 et 5% SAU	1
	Si entre 5% et 10% SAU	2
	Si entre 10% et 15% SAU	3
	Si ≥ 15% SAU	4
Utilisation des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation	Si Non	0
	Si Oui	1

Utilisation de la lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle	Si Non Si entre 0 et 25% SAU Si entre 25% et 50% SAU Si entre 50% et 75% SAU Si entre 75 % et 100% SAU Si = 100% SAU	0 1 2 3 4 5
Diversité animale	1 point par espèce animale élevée 1 point par race animale élevée	1 1
Présence des espèces végétales anciennes	1 point par espèce végétale ancienne cultivée	1
Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition	1 point par variété végétale régionale rare ou en voie de disparition	1
Présence des races animales régionales rares ou en voie de disparition	1 point par race animale régionale rare ou en voie de disparition	1
Intégration des plantes mellifères	Si Non Si 1 espèce Si 2 espèces Si > 2 espèces	0 1 2 3
Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux agresseurs des cultures	1 point par variété (et/ou porte-greffe) végétale résistante aux agresseurs des cultures cultivée	1
Utilisation de faux-semis	Si Non Si entre 0 et 20% SAU Si entre 20% et 40% SAU Si entre 40% et 60% SAU Si entre 60% et 80% SAU Si ≥ 80% SAU	0 1 2 3 4 5
Adaptation de la date de semis (et/ou de plantation)	Si Non Si < 50% SAU Si ≥ 50% SAU	0 2 4
Adaptation de la densité de la végétation	Si Non Si < 50% SAU Si ≥ 50% SAU	0 2 4

Utilisation des techniques alternatives (la prophylaxie, les plantes pièges, le piégeage massif...)	1 point par technique alternative utilisée	1
Utilisation des barrières physiques	Si Non Si Oui	0 1
Utilisation de la solarisation	Si Non Si entre 0 et 20% de la surface totale des cultures légumières Si entre 20% et 40% Si entre 40% et 60% Si entre 60% et 80% Si ≥ 80%	0 1 2 3 4 5
Protection des pâturages	Si Non Si Oui	0 1
Garantie le confort des bâtiments	1 point par bonne réponse	1
Préservation préventive de la santé des animaux	Si Non Si Oui	0 1
Maintien de l'autonomie alimentaire	Si Non Si entre 0 et 60% Si entre 60% et 70% Si entre 70% et 80% Si entre 80% et 90% Si ≥ % 90	0 1 2 3 4 5
Renforcement de la communication entre agriculteurs	1 point par bonne réponse	1
Intégration dans des structures associatives	1 point par structure associative	1
Embauche de la main d'œuvre	Si Non Si < 50% de la main d'œuvre Si = > 50% de la main d'œuvre	0 1 2
Développement de l'agrotourisme	Si Non Si Oui	0 1

Développement de la vente directe	Si Non Si Oui	0 1
Ouverture de la ferme à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation	1 point par bonne réponse	1
Intégration ou participation dans des organisations et /ou des institutions de conseil et de démonstration	1 point par organisation et/ou institution	1
Transformation des produits sur l'exploitation	Si Non Si Oui	0 1
Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente	1 point par débouché et/ou réseau	1
Diversification des clients	Si ≤ 25% du CA Si entre 25% et 50% du CA Si ≥ 50% du CA	3 2 1
Diminution du rythme de travail difficile	Si Non Si Oui	0 1
Présence d'un bon environnement de travail	1 point par bonne réponse	1

Annexe 12. Grille de notation des paramètres (techniques agricoles) au niveau "Parcelle" (Trabelsi, 2015)

Paramètres	Mode de notation	Notes attribuées
Utilisation du cuivre	Si pas d'utilisation	
	Indicateur *Pollution des eaux et des sols*	
	Agriculture biologique et non biologique	4
	Indicateur *Contrôle des ravageurs*	
	Agriculture biologique	4
	Agriculture non biologique	0
	Si entre 0 kg/ha/an et 3 kg/ha/an	3
	Si entre 3 kg/ha/an et 6 kg/ha/an	2
	Si ≥ 6 kg/ha/an	1
Utilisation du soufre	Si pas d'utilisation	
	Indicateur *Pollution des eaux et des sols*	
	Agriculture biologique et non biologique	4
	Indicateur *Contrôle des ravageurs*	
	Agriculture biologique	4
	Agriculture non biologique	0
	Si entre 0 kg/ha/an et 5 kg/ha/an	3
	Si entre 5 kg/ha/an et 10 kg/ha/an	2
	Si ≥ 10 kg/ha/an	1
Utilisation des pesticides chimiques	Si pas d'utilisation	4
	Si IFT moyen pondéré / ha < IFT / ha régional	3
	Si IFT moyen pondéré / ha ≈ IFT / ha régional	2
	Si IFT moyen pondéré /ha > IFT / ha régional	1
Utilisation des pesticides biologiques	Si pas d'utilisation	
	Agriculture biologique	4
	Agriculture non biologique	0
	Si IFT bio moyen pondéré / ha < IFT bio / ha régional	3
	Si IFT bio moyen pondéré / ha ≈ IFT bio / ha régional	2
	Si IFT bio moyen pondéré / ha > IFT bio / ha régional	1
Gestion raisonnée de la fertilisation azotée	Indicateur *Pollution des eaux et des sols*, *Contrôle des ravageurs* et *Contrôle des adventices*	
	Si ≤ 0 kg N/ha/an	7
	Si entre 0 et 20 kg N/ha/an	6
	Si entre 20 et 40 kg N/ha/an	5

	Si entre 40 et 60 kg N/ha/an	4
	Si entre 60 et 80 kg N/ha/an	3
	Si entre 80 et 100 kg N/ha/an	2
	Si ≥ à 100 kg N/ha/an	1
	Pour les autres indicateurs	
	Si < 0 kg N/ha/an	1
	Si = 0 kg N/ha/an (Bilan équilibré)	8
	Si entre 0 et 20 kg N/ha/an	7
	Si entre 20 et 40 kg N/ha/an	6
	Si entre 40 et 60 kg N/ha/an	5
	Si entre 60 et 80 kg N/ha/an	4
	Si entre 80 et 100 kg N/ha/an	3
	Si ≥ à 100 kg N/ha/an	2
Gestion raisonnée de la fertilisation phosphatée	Indicateur *Pollution des eaux et des sols*	
	Si < 0 kg P2O5/ha/an	5
	Si = 0 kg P2O5/ha/an (Bilan équilibré)	4
	Si entre 0 kg P2O5/ha/an et 15 kg P2O5/ha/an	3
	Si entre 15 kg P2O5/ha/an et 30 kg P2O5/ha/an	2
	Si ≥ 30 kg P2O5 /ha/an	1
	Pour les autres indicateurs	
	Si < 0 kg P2O5/ha/an	1
	Si = 0 kg P2O5/ha/an (Bilan équilibré)	5
	Si entre 0 kg P2O5/ha/an et 15 kg P2O5/ha/an	4
	Si entre 15 kg P2O5/ha/an et 30 kg P2O5/ha/an	3
	Si ≥ 30 kg P2O5 /ha/an	2
Gestion raisonnée de la fertilisation potassique	Si < 0 kg K2O/ha/an	1
	Si = 0 kg K2O/ha/an (Bilan équilibré)	5
	Si entre 0 kg K2O /ha/an et 15 kg K2O/ha/an	4
	Si entre 15 kg K2O/ha/an et 30 kg K2O/ha/an	3
	Si ≥ à 30 kg K2O/ha/an	2

Annexe 13. Grille de notation des indicateurs économiques (Trabelsi, 2015)

Indicateurs	Mode de notation	Notes attribuées
Efficacité économique ou Efficacité productive	Si < 10%	1
	Si entre 10% et 20%	2
	Si entre 20% et 30%	3
	Si entre 30% et 40%	4
	Si entre 40% et 50%	5
	Si entre 50% et 60%	6
	Si ≥ 60%	7
Productivité du capital	Si < 10%	1
	Si entre 10% et 20%	2
	Si entre 20% et 30%	3
	Si entre 30% et 40%	4
	Si entre 40% et 50%	5
	Si ≥ 50%	6
Sensibilité aux aides	Si ≥ 100%	1
	Si entre 90% et 100%	2
	Si entre 80% et 90%	3
	Si entre 70% et 80%	4
	Si entre 60% et 70%	5
	Si entre 50% et 60%	6
	Si entre 40% et 50%	7
	Si entre 30% et 40%	8
	Si entre 20% et 30%	9
	Si entre 10% et 20%	10
	Si < 10%	11
Autonomie financière	Si ≥ 60%	6
	Si entre 50% et 60%	5
	Si entre 40% et 50%	4
	Si entre 30% et 40%	3
	Si entre 20% et 30%	2
	Si < 20%	1
Efficience du processus productif	Si < à 10%	1
	Si entre 10 et 20%	2
	Si entre 20 et 30%	3

	Si entre 30 et 40%	4
	Si entre 40 et 50%	5
	Si entre 50 et 60%	6
	Si entre 60 et 70%	7
	Si entre 70 et 80%	8
	Si entre 80 et 90%	9
	Si ≥ à 90%	10
Dépendance vis-à-vis les achats d'intrants	Si < 25%	4
	Si entre 25% et 50%	3
	Si entre 50% et 75%	2
	Si ≥ 75%	1
Efficience-Santé Applicateur	Si < 20%	1
	Si entre 20% et 40%	2
	Si entre 40% et 60%	3
	Si entre 60% et 80%	4
	Si entre 80% et 100%	5
	Si entre 100% et 120%	6
	Si entre 120% et 140%	7
	Si entre 140% et 160%	8
	Si entre 160% et 180%	9
	Si entre 180% et 200%	10
	Si ≥ 200%	11
Efficience- Toxicité Environnement	Si < 30%	1
	Si entre 30% et 60%	2
	Si entre 60% et 90%	3
	Si entre 90% et 120%	4
	Si entre 120% et 150%	5
	Si entre 150% et 180%	6
	Si entre 180% et 210%	7
	Si entre 210% et 240%	8
	Si entre 240% et 270%	9
	Si entre 270% et 300%	10
	Si ≥ 300%	11

Annexe 14. Grille de notation des IRTE et IRSA pondérés/ha (Trabelsi, 2015)

Grandes cultures		Viticulture		Arboriculture		
IRTE/ha	**IRSA/ha**	**IRTE/ha**	**IRSA/ha**	**IRTE/ha**	**IRSA/ha**	**Notes attribuées**
0	0	0	0	0	0	**30**
0-150	0-200	0-350	0-1500	0-500	0-3000	**29**
150-300	200-400	350-700	1500-3000	500-1000	3000-6000	**28**
300-450	400-600	700-1050	3000-4500	1000-1500	6000-9000	**27**
450-600	600-800	1050-1400	4500-6000	1500-2000	9000-12 000	**26**
600-750	800-1000	1400-1750	6000-7500	2000-2500	12 000-15 000	**25**
750-900	1000-1200	1750-2100	7500-9000	2500-3000	15 000-18 000	**24**
900-1050	1200-1400	2100-2450	9000-10 500	3000-3500	18 000-21 000	**23**
1050-1200	1400-1600	2450-2800	10 500-12 000	3500-4000	21 000-24 000	**22**
1200-1350	1600-1800	2800-3150	12 000-13 500	4000-4500	24 000-27 000	**21**
1350-1500	1800-2000	3150-3500	13 500-15 000	4500-5000	27 000-30 000	**20**
1500-1650	2000-2200	3500-3850	15 000-16 500	5000-5500	30 000-33 000	**19**
1650-1800	2200-2400	3850-4200	16 500-18 000	5500-6000	33 000-36 000	**18**
1800-1950	2400-2600	4200-4550	18 000-19 500	6000-6500	36 000-39 000	**17**
1950-2100	2600-2800	4550-4900	19 500-21 000	6500-7000	39 000-42 000	**16**
2100-2250	2800-3000	4900-5250	21 000-22 500	7000-7500	42 000-45 000	**15**
2250-2400	3000-3200	5250-5600	22 500-24 000	7500-8000	45 000-48 000	**14**
2400-2550	3200-3400	5600-5950	24 000-25 500	8000-8500	48 000-51 000	**13**
2550-2700	3400-3600	5950-6300	25 500-27 000	8500-9000	51 000-54 000	**12**
2700-2850	3600-3800	6300-6650	27 000-28 500	9000-9500	54 000-57 000	**11**
2850-3000	3800-4000	6650-7000	28 500-30 000	9500-10 000	57 000-60 000	**10**
3000-3150	4000-4200	7000-7350	30 000-31 500	10 000-10 500	60 000-63 000	**9**
3150-3300	4200-4400	7350-7700	31 500-33 000	10 500-11 000	63 000-66 000	**8**
3300-3450	4400-4600	7700-8050	33 000-34 500	11 000-11 500	66 000-69 000	**7**
3450-3600	4600-4800	8050-8400	34 500-36 000	11 500-12 000	69 000-72 000	**6**
3600-3750	4800-5000	8400-8750	36 000-37 500	12 000-12 500	72 000-75 000	**5**
3750-3900	5000-5200	8750-9100	37 500-39 000	12 500-13 000	75 000-78 000	**4**
3900-4050	5200-5400	9100-9450	39 000-40 500	13 000-13 500	78 000-81 000	**3**
4050-4200	5400-5600	9450-9800	40 500-42 000	13 500-14 000	81 000-84 000	**2**
> 4200	> 5600	> 9800	> 42 000	> 14 000	> 84 000	**1**

Annexe 15. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques, IRTE et IRSA) au niveau "Exploitation" (Trabelsi, 2015)

Mode de production: Plein champ & Système de production: Polyculture

Indicateurs	Cultures annuelles (sans cultures légumières)	Cultures annuelles (avec cultures légumières)	Cultures pérennes	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Prairies	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Prairies	Cultures pérennes & Prairies permanentes	Cultures pérennes & Prairies temporaires	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies
Pollution des eaux et des sols	56	56	27	61	61	56	56	27	27	61	61
Pollution de l'air	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Erosion-Ruissellement	150	150	109	155	155	150	150	109	121	155	155
Fertilité du sol	145	145	100	150	150	145	145	104	116	150	150
Efficience de la fertilisation azotée	50	50	13	50	50	50	50	13	25	50	50
Préservation de la ressource eau	28	28	28	43	43	38	38	28	28	43	43
Préservation de l'énergie	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Biodiversité et Ressources locales du territoire	156	156	111	176	176	171	171	115	127	176	176
Contrôle des ravageurs	161	163	112	177	178	171	173	121	133	177	178
Contrôle des adventices	153	154	107	168	169	163	164	116	128	168	169
Implication sociale	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Sécurité nutritionnelle des produits	16	16	16	26	26	26	26	16	16	26	26

Intensité et pénibilité du travail	26	26	26	31	31	26	26	26	26	31	31	

La note maximale du paramètre ***Diversité végétale*** dépend du nombre des espèces et variétés cultivées. Pour cela nous avons supposé qu'au sein d'une exploitation agricole: le nombre maximal des espèces annuelles ou pérennes est égal à 10 et le nombre maximal des variétés annuelles ou pérennes est égal à 20.

La note maximale du paramètre ***Présence des variétés végétales plus adaptées à la sécheresse*** dépend de leur nombre. Pour cela nous avons supposé qu'au sein d'une exploitation agricole, chaque espèce annuelle ou pérenne possède au moins une variété plus adaptée à la sécheresse.

La note maximale du paramètre ***Présence des espèces végétales anciennes*** dépend de leur nombre. Pour cela, nous avons supposé qu'au sein d'une exploitation agricole, le nombre maximal des espèces végétales anciennes annuelles ou pérennes est égal à 5.

La note maximale du paramètre ***Présence des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition*** dépend de leur nombre. Pour cela nous avons supposé qu'au sein d'une exploitation agricole, chaque espèce annuelle ou pérenne possède au moins une variété végétale régionale rare ou en voie de disparition.

La note maximale du paramètre ***Présence des variétés (et/ou des porte-greffes) végétales résistantes aux différents agresseurs des cultures*** dépend de leur nombre. Pour cela, nous avons supposé qu'au sein d'une exploitation agricole, chaque espèce annuelle ou pérenne possède au moins une variété (ou porte-greffe) végétale résistante aux différents agresseurs des cultures.

La note maximale du paramètre ***Intégration dans des structures associatives*** dépend de leur nombre. Pour cela, nous avons supposé que leur nombre maximal est égal à 3.

La note maximale du paramètre ***Intégration ou participation dans des organisations et/ou des institutions de conseil et de démonstration*** dépend de leur nombre. Pour cela, nous avons supposé que leur nombre maximal est égal à 2.

La note maximale du paramètre ***Diversification des débouchés et/ou des réseaux commerciaux de vente*** dépend de leur nombre. Pour cela, nous avons supposé que leur nombre maximal est égal à 4.

Mode de production: Plein champ & Système de production: Polyculture & Elevage

Indicateurs	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Elevage	Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Prairies & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Prairies & Elevage	Cultures pérennes & Prairies permanentes & Elevage	Cultures pérennes & Prairies temporaires & Elevage	Cultures annuelles (sans cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies & Elevage	Cultures annuelles (avec cultures légumières) & Cultures pérennes & Prairies & Elevage
Pollution des eaux et des sols	57	57	28	62	62	57	57	28	28	62	62
Pollution de l'air	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Erosion-Ruissellement	150	150	109	155	155	150	150	109	121	155	155
Fertilité du sol	145	145	100	150	150	146	146	105	113	151	151
Efficience de la fertilisation azotée	50	50	13	50	50	50	50	13	25	50	50
Préservation de la ressource eau	28	28	28	43	43	38	38	28	28	43	43
Préservation de l'énergie	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Biodiversité et Ressources locales du territoire	180	180	135	200	200	196	196	140	148	201	201

Contrôle des ravageurs	161	163	112	177	178	171	173	121	126	177	178
Contrôle des adventices	153	154	107	168	169	164	165	117	125	169	170
Bien-être animal	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Implication sociale	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Sécurité nutritionnelle des produits	22	22	22	32	32	32	32	22	22	32	32
Intensité et pénibilité du travail	26	26	26	31	31	26	26	26	26	31	31

Système de production: Elevage

Mode de production: Sous-abris (sous-serre) & Systèmes de production: Polyculture et Polyculture & Elevage

	Elevage	**Polyculture**		**Polyculture & Elevage**	
Indicateurs	**Prairies & Elevage**	**Cultures annuelles (légumières)**	**Cultures annuelles (légumières) & Prairies**	**Cultures annuelles (légumières) & Elevage**	**Cultures annuelles (légumières) & Prairies & Elevage**
Pollution des eaux et des sols	15	50	50	51	51
Pollution de l'air	11	18	19	18	19
Erosion-Ruissellement	92	134	135	134	135
Fertilité du sol	92	138	139	138	140
Efficience de la fertilisation azotée	5	50	50	50	50

Préservation de la ressource eau	23	17	18	17	18
Préservation de l'énergie	31	31	31	31	31
Biodiversité et Ressources locales du territoire	123	145	161	169	186
Contrôle des ravageurs	110	156	167	156	167
Contrôle des adventices	104	153	164	153	165
Bien-être animal	87	-	-	88	89
Implication sociale	23	23	23	23	23
Sécurité nutritionnelle des produits	22	16	26	22	32
Intensité et pénibilité du travail	17	22	22	22	22

Annexe 16. Seuils de performance des indicateurs (sauf économiques) au niveau "Parcelle" (Trabelsi, 2015)

	Pollution des eaux et des sols	Fertilité du sol	Efficience de la fertilisation azotée	IRTE	Biodiversité et Ressources locales du territoire	Contrôle des ravageurs	Contrôle des adventices	Bien-être animal	IRSA	Sécurité nutritionnelle des produits
Agriculture non biologique **Tout type de production agricole (Plein champ ou sous-abris)**	27	25	8	30	7	30	24	15	30	25
Agriculture biologique **Tout type de production agricole (Plein champ ou sous-abris)**	28	26	8	30	8	33	25	16	30	26

Annexe 17. Questionnaire d'enquêtes (Trabelsi 2015-2016)

1) Généralités sur l'exploitation agricole

Nom de l'exploitation : **Type de l'exploitation :** **Superficie totale (ha) :**

					Caractéristiques des îlots		
Numéro îlot	**Surface (ha)**	**Numéro Parcelle**	**Cultures**	**Surface (ha)**	**Irrigable** (Oui ou Non)	**Type de sol**	**Pentu** (Si oui donnez un %) <5 % >5 %

•Les raisons ou les motivations de l'engagement dans la démarche MAE.

Pratiquez-vous le stockage et traitement (1) des eaux usées et/ou (2) des effluents liquides d'élevage ? le recyclage des déchets ? (3)	Non Oui (Quoi exactement : (1), (2), (3))
Existe-t-il des infrastructures agroécologiques sur l'exploitation ? (ex : des mares, des lacs, des bandes enherbées, des bosquets, des arbres isolés, des haies, des prairies, etc.)	Non Oui Si Oui : Quelles infrastructures Sur quels îlots Nombre des arbres isolés Longueur des haies ou/et des lisières (m) Largeur et longueur des bandes enherbées (m)
Existe-t-il des aménagements antiérosifs sur l'exploitation ? (ex : des banquettes, des murets, des terrasses, des bandes enherbées, etc.)	Non Oui Si Oui : Quels dispositifs et sur quels îlots
Quel est le volume total d'eau consommé (m3/an) sur l'exploitation ?	Si ≥ 50 000 m3 / exploitation Si entre 40 000 et 50 000 m3 / an Si entre 30 000 et 40 000 m3 /an Si entre 20 000 et 30 000 m3 /an Si entre 10 000 et 20 000 m3 / an Si ≤ 10 000 m3 / an

Utilisez-vous des dispositifs de récupération et de stockage des eaux ? (ex : des bassins de récupération, des barrages, etc.)	Non Oui
Utilisez-vous un compteur d'eau spécifique à l'exploitation pour surveiller la consommation ?	Non Oui
Quelle est la consommation totale en énergie sur l'exploitation ?	Electricité (kwh) Gasoil (litres fioul / ha) Gaz
Utilisez-vous des compteurs d'électricité et/ou de gaz spécifiques à l'exploitation pour surveiller la consommation ?	Non Oui
Produisez-vous de l'énergie renouvelable sur l'exploitation ? (ex : Utilisation du bois ; Production des biocarburants: des huiles, des alcools, des gaz de fermentation ; Mise en place des éoliennes, des plaques solaires, etc.)	Non Oui Si Oui : Quel type d'énergie % SAU dédiée aux cultures énergétiques et à la biomasse (ex: méthanisation, combustion): Si entre 0% et 5% SAU Si entre 5% et 10% SAU Si entre 10% et 15% SAU Si ≥ 15% SAU
Produisez-vous du fourrage (foin) et/ou concentré sur l'exploitation (% ou T/ha) Pour l'alimentation du bétail et/ou pour la vente ?	Non Oui Si Oui : % du fourrage et/ou concentré produits sur l'exploitation par rapport à la quantité totale consommée : Si < 60% Si entre 60% et 70% Si entre 70% et 80% Si entre 80% et 90% Si ≥ 90%
Intégrez-vous des légumineuses et/ou des cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN) dans l'assolement ?	Non Oui Si Oui % SAU Légumineuses / % SAU CIPAN < 5% SAU / < 5% SAU Si entre 5% et 10% SAU / Si entre 5% et 10% SAU Si entre 10% et 15% SAU / Si entre 10% et 15% SAU ≥ 15% SAU / ≥ 15% SAU
Pratiquez-vous l'agroforesterie ?	Non Oui
Intégrez-vous des plantes de coupure dans les rotations des cultures ?	Non Oui Si Oui : % SAU de plantes de coupure
Associez-vous plusieurs cultures sur la même parcelle ?	Non Oui Si Oui : % SAU de parcelles associées (cultures associées)
Intégrez-vous des plantes mellifères ? (des espèces produisant du nectar, substance liquide très sucrée récoltée par les insectes butineurs et les oiseaux nectarivores)	Non Oui Si Oui: Nombre d'espèces utilisées
Faites-vous une analyse de l'azote minéral dans le sol en début de campagne ?	Non Oui Si Oui : % SAU sur lequel l'analyse est faite
Fractionnez-vous les apports de l'azote en fonction des besoins des cultures ?	Non Oui
Renforcez-vous la communication avec les autres agriculteurs ?	Non Oui Si Oui : Comment : -Organiser des rencontres entre agriculteurs

	-Mise en commun des équipements et des services -Travailler en réseau, etc.
Etes-vous membre des structures associatives ?	Non Oui Si Oui : Nombre des structures associatives
Quel est le nombre de main d'œuvre familial ? Embauchez-vous de main d'œuvre non familiale ?	 Non Oui Si Oui : Nombre de main d'œuvre non familiale
Développez-vous des circuits courts (la vente directe) ?	Non Oui
Développez-vous l'agrotourisme dans la région ?	Non Oui
Ouvrez-vous l'exploitation à la visite et/ou à l'accueil des stagiaires et/ou à la formation ?	Non Oui Si Oui : à quoi exactement
Participez-vous dans des organisations et/ou des institutions de conseil et de démonstration ?	Non Oui Si Oui : Nombre des organisations et/ou des institutions
Transformez-vous des produits sur l'exploitation ?	Non Oui Si Oui : Quels produits
Diversifiez-vous les débouchés et les réseaux commerciaux de vente ?	Non Oui Si Oui : Quels sont ces débouchés et ces réseaux et leur nombre
Quelle est la part du chiffre d'affaire (CA) achetée par le plus gros client ?	Si < 25% du CA Si entre 25% et 50% du CA Si ≥ 50% du CA
Diminuez-vous le rythme de travail difficile (Présence de jours de repos & vacances) ?	Non Oui Nombre de jours et/ou heures du travail / an
Favorisez-vous un bon environnement de travail ?	Non Oui Si Oui : Comment ✓ Vivre sur le lieu de travail (sur ou à proximité de l'exploitation) ✓ Absence de bruit, de poussière, etc. ✓ Bonne organisation du travail ✓ Sécurité des installations ✓ Nettoyage du matériel après utilisation ✓ Utilisation du matériel de sécurité (masques, gans, etc.)

2) Economie

<table>
<tr><td>Quel est l’Excédent Brut d’Exploitation (Weber) ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelles sont les quantités de production vendues (ventes) ?</td><td><table><tr><td>Productions</td><td>Quantités vendues (kg ou T ou Q ou litres)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Quel est le prix de vente par production ?</td><td><table><tr><td>Productions</td><td>Prix de vente (Euros)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Quel est le revenu net de l'exploitant et sa famille (Fernez-Walch, Romon) ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelle est la somme des primes et aides MAE (valeur totale) ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelle est la valeur du chiffre d'affaires ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelle est la valeur ajoutée ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quel est le volume total des charges opérationnelles (engrais, pesticides, semences et autres) ?

Quelles sont les coûts des charges opérationnelles par culture ?</td><td><table><tr><td>Cultures</td><td>Charges opérationnelles (Euros)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Quel est le volume total des charges fixes hors dotations aux amortissements et charges financières ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelle est la somme des dettes ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Quelle est la somme des aides (autres que MAE) ou subventions ?</td><td></td></tr>
</table>

3) Cultures annuelles (Fiche par culture)

<table>
<tr><td>Quel est le rendement de la culture (T/ha ou Q/ha) ?</td><td>
<table>
<tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Rendement (T/ha ou Q/ha)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Quel est le nombre de variétés cultivées ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous du cuivre et/ou soufre pour le traitement de la culture ?</td><td>Non Oui

Si Oui : Cuivre : Si < 3 kg/ha/an Soufre : Si < 5 kg/ha/an
Si entre 3 kg/ha/an et 6 kg/ha/an Si entre 5 kg/ha/an et 10 kg/ha/an
Si > 6 kg/ha/an Si > 10 kg/ha/an

<table>
<tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Cuivre</th><th>Soufre</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Quel engrais NPK utilisez-vous pour la fertilisation de la culture ?

✓ Quelle est la quantité de phosphore minérale utilisée (U ou kg/ha/an) ?

✓ Quelle est la quantité de potassium minérale utilisée (U ou kg/ha/an) ?

✓ Quelle est la quantité d’azote minérale utilisée (U ou kg/ha/an) ?</td><td>NPK :

<table>
<tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Quantité de P minéral (U ou kg/ha/an)</th><th>Quantité de K minéral (U ou kg/ha/an)</th><th>Quantité de N minéral (U ou kg/ha/an)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des fertilisants (engrais et amendements) organiques à la place d'autres chimiques pour la fertilisation de la culture ? (ex : des engrais verts, du compost, des fumiers, des lisiers, des fientes, des farines de viande ou de plumes, etc.)</td><td>Non Oui
Si Oui : Quels fertilisants et quelles quantités

<table>
<tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Fertilisants organique</th><th>Quantités (kg ou l /ha/an)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Utilisez-vous des produits biologiques, naturels pour le traitement de la culture ? (ex: des huiles végétales, des microorganismes, des extraits de plantes, etc.)</td><td>Non Oui
Si Oui : Quels produits et quelles quantités
<table><tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Produits bio utilisés</th><th>Quantités (kg/ha ; l/ha)</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>1) Pratiquez-vous la couverture permanente du sol (entre les lignes de la culture et/ou après récolte ?</td><td>Entre les lignes de la culture : Non Oui
Si Oui : Quelle est la surface du sol couvert (en % de l’interligne)
Si = 50% (1 couverture d’une interligne sur deux) Si > 50%
Après récolte : Non Oui</td></tr>
<tr><td>Travaillez-vous le sol superficiellement sans retournement ?</td><td>Non Oui
Si Oui : % du sol travaillé superficiellement sans retournement par rapport à la surface totale de la parcelle
<table><tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>% surface travaillée</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Désherbez-vous mécaniquement (et/ou manuellement) la culture ?</td><td>Non Oui
Si Oui : % de la surface désherbé mécaniquement (et/ou manuellement) par rapport à la surface totale désherbée de la parcelle
<table><tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>% surface désherbée</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Irriguez-vous la culture ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Irrigation localisée Oui Non
<table><tr><th>Ilot</th><th>Parcelle</th><th>Type d’irrigation</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des variétés végétales plus adaptées à la sécheresse ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Leur nombre</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Pratiquez-vous la lutte biologique et/ou utilisez –vous des produits de bio-contrôle ?</td><td>Non Oui
Si Oui : % SAU sur lequel la lutte biologique et/ou des produits de bio-contrôle sont utilisés</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des variétés végétales anciennes pour cette culture ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Leur nombre</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des variétés végétales régionales rares ou en voie de disparition ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Leur nombre</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des barrières physiques (des filets plastiques, des bâches, etc.) ?</td><td>Non Oui</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous des variétés végétales résistantes aux différents agresseurs ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Leur nombre</td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous la technique de la solarisation ?</td><td>Non Oui</td></tr>
<tr><td>Pratiquez-vous la technique de faux-semis pour cette culture ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Sur quelles parcelles
<table><tr><td>Ilot</td><td>Parcelle</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Adaptez-vous la date de semis pour cette culture ? (semis précoce ou tardif)</td><td>Non Oui
Si Ou : Sur quelle parcelles ?
<table><tr><td>Ilot</td><td>Parcelle</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Adaptez-vous la densité de la végétation pour cette culture ?</td><td>Non Oui
Si Ou : Sur quelle parcelles ?
<table><tr><td>Ilot</td><td>Parcelle</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Utilisez-vous une de ces techniques (ou autres) pour lutter contre les ravageurs: la prophylaxie; les plantes pièges ; le piégeage massif, etc. ?</td><td>Non Oui</td></tr>
</table>

4) Elevage

<table>
<tr><td>Quel est le nombre d'espèces animales présentes ?
Quel est l'effectif de chaque espèce animale ?</td><td><table><tr><td>Espèces animales</td><td>Effectif</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Quel est le nombre de races animales présentes pour chaque espèce animale ?</td><td><table><tr><td>Espèces animales</td><td>Nombre de races</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Pratiquez-vous l'alternance entre la fauche et le pâturage ? (</td><td>Non Oui</td></tr>
<tr><td>Avez-vous des races animales régionales rares ou en voie de disparition ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Leur nombre</td></tr>
<tr><td>Produisez-vous du compost à base des déjections animales ?</td><td>Non Oui
Si Oui : % de la matière organique compostée Si < 50% Si ≥ 50%</td></tr>
<tr><td>Protégez-vous les pâturages contre (pluie, soleil, froid, etc.) ?</td><td>Non Oui</td></tr>
<tr><td>Garantissez-vous le confort des bâtiments ?</td><td>Non Oui
Si Oui : Comment :

-Des bâtiments suffisamment grands, ventilés, propres, etc.
-Aménagement de milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels
-Augmentation de la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels</td></tr>
<tr><td>Préservez-vous préventivement la santé des animaux (Suppression des traitements curatifs et systémiques par des produits vétérinaires de synthèse) ?</td><td>Non Oui</td></tr>
<tr><td>Quelle est la quantité des aliments du bétail consommée (fourrage, concentré, foin) (T/ha) ?</td><td></td></tr>
<tr><td>Achetez-vous des aliments supplémentés en antibiotique ?</td><td>Non Oui</td></tr>
</table>

Annexe 18. Besoin en éléments (exportations) N, P, K des différentes cultures pour le calcul du bilan CORPEN

Productions	Exportation N (Kg / qx de grain récolté ou de fruits)	Exportation P2O5 des cultures (kg /qx /ha)	Exportation k2O des cultures (kg /qx /ha)
Colza semences	7	2,5	10
Blé dur d'hiver	3,5	0,85	0,45
Blé tendre d'hiver	3,5	1,1	1,7
Blé tendre qualité	3,5	1,1	1,7
Orge d'hiver	2,1	1	1,9
Orge d'hiver fourrager	2,1	1	1,9
Tournesol oléique	3,7	2,5	10
Mais	2,2	0,9	2,3
Triticale	2,5	1,1	1,6
Ail	9,5	0,47	0,86
Soja	7,1	2,2	5,5
Sorgho grain	2,4	0,7	0,35
Ray gras d'Italie	2	0,7	3,89
Haricot vert	0,34	0,1	0,32
Poichiches	-	0,7	0,7
Lentilles	8	0,9	-
Grand-Epeautre	2	1,3	1,8
Petit-Epeautre	2	1,3	1,8
Avoine	2,5	1,1	1,9
Lin non textile	4,5	1,35	0,8
Pommier	0,2	0,08	0,3
Poirier	0,2	0,1	0,3
Pêcher	0,4	0,12	0,5
Cerisier	0,48	0,12	0,4
Amandier	2	0,25	1,5
Prunier	0,48	0,04	0,46
Kiwi	0,3	0,2	0,4
Noisetier	1,35	0,35	0,75

Sources bibliographiques:

Ben Mimoun (2002). La gestion de la fertilisation potassique en arboriculture fruitière. [En ligne]: http://www.ipipotash.org/udocs/LA%20GESTION%20DE%20LA%20FERTILISATION%20POTASSIQUE%20EN%20ARBORICULTURE%20FRUITIERE.pdf

Chambre d'agriculture de Tarn-et-Garonne (2010). Guide Fertilisation raisonnée en arboriculture fruitière. [En ligne]: http://www.agri82.fr/images/stories/2011/arbo_2011/guide_fertilisationraisonnee.pdf

Chambres d'agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur (2012). Fertilisation des grandes cultures. [En ligne]: http://www.cas-asso.com/uploads/rte/File/DossiersPresse/Les%20sols%20vivants%20Bio/7_Ferti_Grd_Cult.pdf

Larrieu (2008). Expérimentation entretien du sol en arboriculture fruitière biologique. [En ligne]: http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/cr_experimentation_entretien_du_sol_2008-2.pdf

Vivenot (2013). Gestion Des effluents d'élevage et respect de la Réglementation. [En ligne]: http://www.meuse.gouv.fr/content/download/1450/8927/file/ic_1366184827.pdf

Sites Internet

Notice explicative-Bilan global de fertilisation azotée : Bilan CORPEN. [En ligne]: http://docplayer.fr/4422524-Notice-explicative-bilan-global-de-fertilisation-azotee-bilan-corpen.html

http://www.franchecomte.chambagri.fr/fileadmin/images_docs/images_docs_contenu/actu/CDA70/annexes_arr%C3%AAt%C3%A9-reg_DN_280812.pdf

http://www.yonne.chambagri.fr/uploads/media/Lentille.pdf

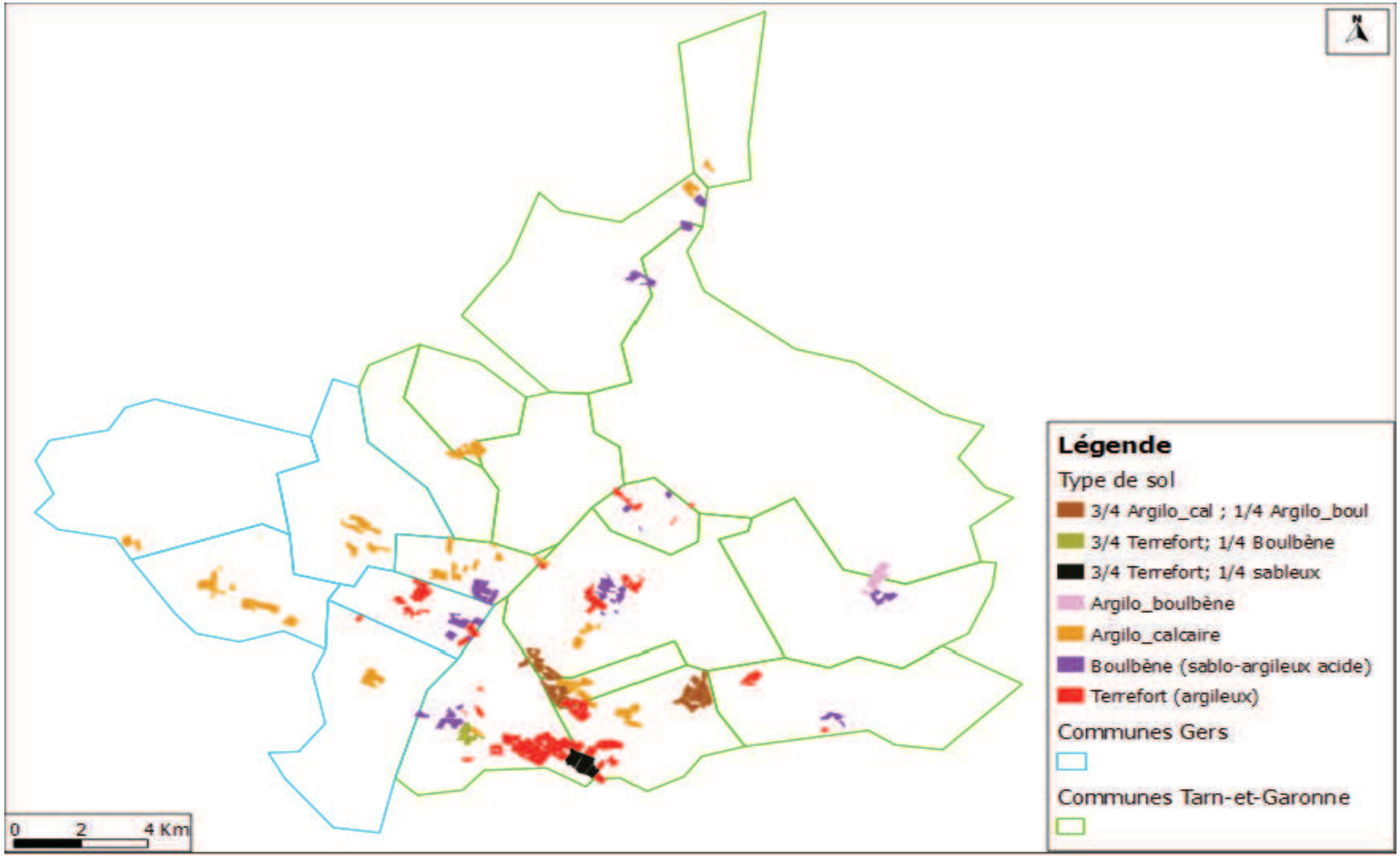
http://lot-et-garonne.chambagri.fr/fileadmin/documents/docs/territoires/AREA/coefficient-exportation.pdf

Annexe 19. Extrait de la base de données générale (données de l'exploitation 1) (Enquêtes de terrain 2015 -2016)

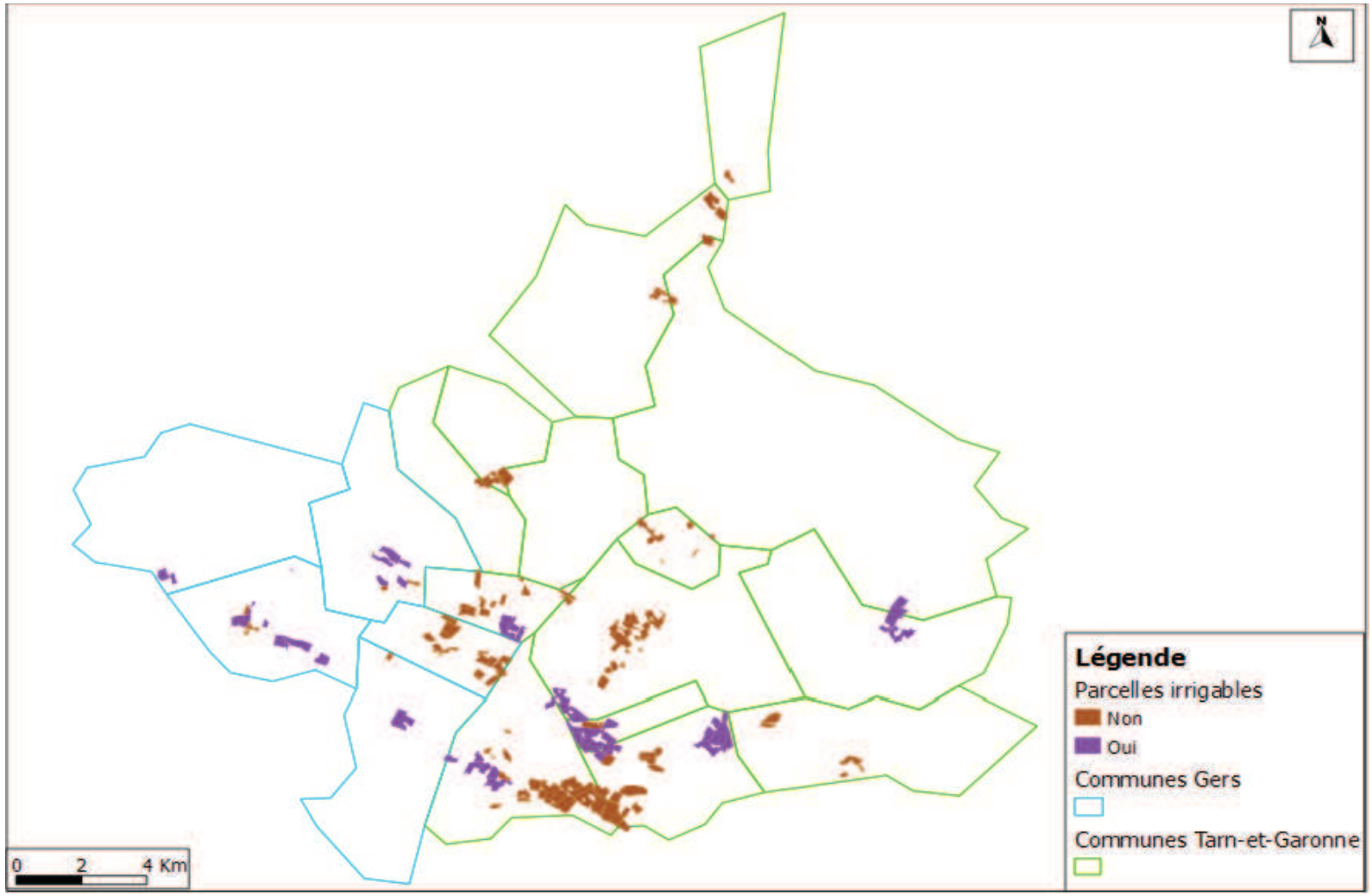
N° ILOT	SURFACE TOTALE / ILOT (ha)	PARCELLES	CULTURES	SURFACE (ha)	SURFACE GEL ANNUEL (ha)	SURFACE BANDES ENHERBEES (ha)	IRRIGABLE	DEGRE DE PENTE	TYPE DE SOL	RENDEMENT (T/ha)
1	5,20	Ilot 1-2	COLZA SEMENCES	4,72	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	3,05
1	5,20	Ilot 1-1	GEL ANNUEL	0,48	0,48	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	0
2	13,81	Ilot 2-4	TOURNESOL OLEIQUE	9,97	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	2,5
2	13,81	Ilot 2-3	ORGE D'HIVER FOURRAGER	3,36	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	5,85
2	13,81	Ilot 2-2	GEL ANNUEL	0,48	0,48	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	0
3	4,37	Ilot 3-2	BLE DUR D'HIVER	3,99	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	5,1
3	4,37	Ilot 3-1	GEL ANNUEL	0,38	0,38	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	0
4	3,49	Ilot 4	BLE DUR D'HIVER	3,49	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	5,1
5	0,85	Ilot 5	BLE DUR D'HIVER	0,85	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	5,1
6	0,52	Ilot 6	BLE TENDRE QUALITE	0,52	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	6,3
7	0,50	Ilot 7	BLE TENDRE QUALITE	0,50	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	6,3
8	1,63	Ilot 8	BLE TENDRE QUALITE	1,63	0	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	6,3
9	5,21	Ilot 9	COLZA SEMENCES	5,21	0	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	3,05
10	4,64	Ilot 10-1	BLE TENDRE QUALITE	1,11	0	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	6,3
10	4,64	Ilot 10-2	BLE TENDRE QUALITE	2,81	0	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	6,3
10	4,64	Ilot 10-3	GEL ANNUEL	0,72	0,72	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	0
11	4,14	Ilot 11-2	BLE TENDRE QUALITE	3,64	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	6,3
11	4,14	Ilot 11-1	GEL ANNUEL	0,50	0,5	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	0
12	7,58	Ilot 12-2	TOURNESOL OLEIQUE	2,21	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	2,5
12	7,58	Ilot 12-3	TOURNESOL OLEIQUE	4,31	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	2,5
12	7,58	Ilot 12-1	GEL ANNUEL	1,06	1,06	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	0
13	4,66	Ilot 13-3	ORGE D'HIVER FOURRAGER	4,26	0	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	5,85
13	4,66	Ilot 13-2	GEL ANNUEL	0,40	0,4	0	Non	Moyen	Boulbène (sablo-argileux acide)	0
14	2,14	Ilot 14	BLE TENDRE QUALITE	2,14	0	0	Non	Moyen	Terrefort (argileux)	6,3

QUANTITE "P" MINERAL (U ou Kg/ha)	QUANTITE "k" MINERAL (U ou Kg/ha)	QUANTITE "N" MINERAL (U ou Kg/ha)	QUANTITE "N" ORGANIQUE (U ou Kg/ha)	IFT/ha	IFT/CULTURE	IRSA/ha	IRSA/CULTURE	IRTE/ha	IRTE/CULTURE
79	40	185	0	6,8	32,1	3342	15774	2179	10285
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
40	30	60	0	1,9	18,8	742	7398	804	8016
81	0	83	0	1,3	4,3	1374	4617	810	2722
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
81	0	210	0	2,5	9,8	768	3066	484	1930
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
81	0	211	0	2,1	7,3	749	2614	328	1145
81	0	211	0	2,2	1,9	755	642	328	279
81	0	250	0	2,1	1,1	1961	1020	932	485
81	0	245	0	2,8	1,4	2538	1269	1036	518
81	0	251	0	2,0	3,3	2191	3571	910	1483
79	40	209	0	6,7	34,7	3282	17099	2145	11175
57	29	245	0	0,8	0,9	4323	4799	1157	1284
57	29	245	0	0,8	2,2	3552	9981	768	2158
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
81	0	245	0	2,2	8,0	3482	12673	800	2912
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
40	30	61	0	0,8	1,8	1113	2460	904	1998
40	30	61	0	1,5	6,5	1113	4797	904	3896
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
57	29	130	0	1,3	5,5	1374	5853	810	3451
0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0
81	0	245	0	1,3	2,7	981	2099	612	1310

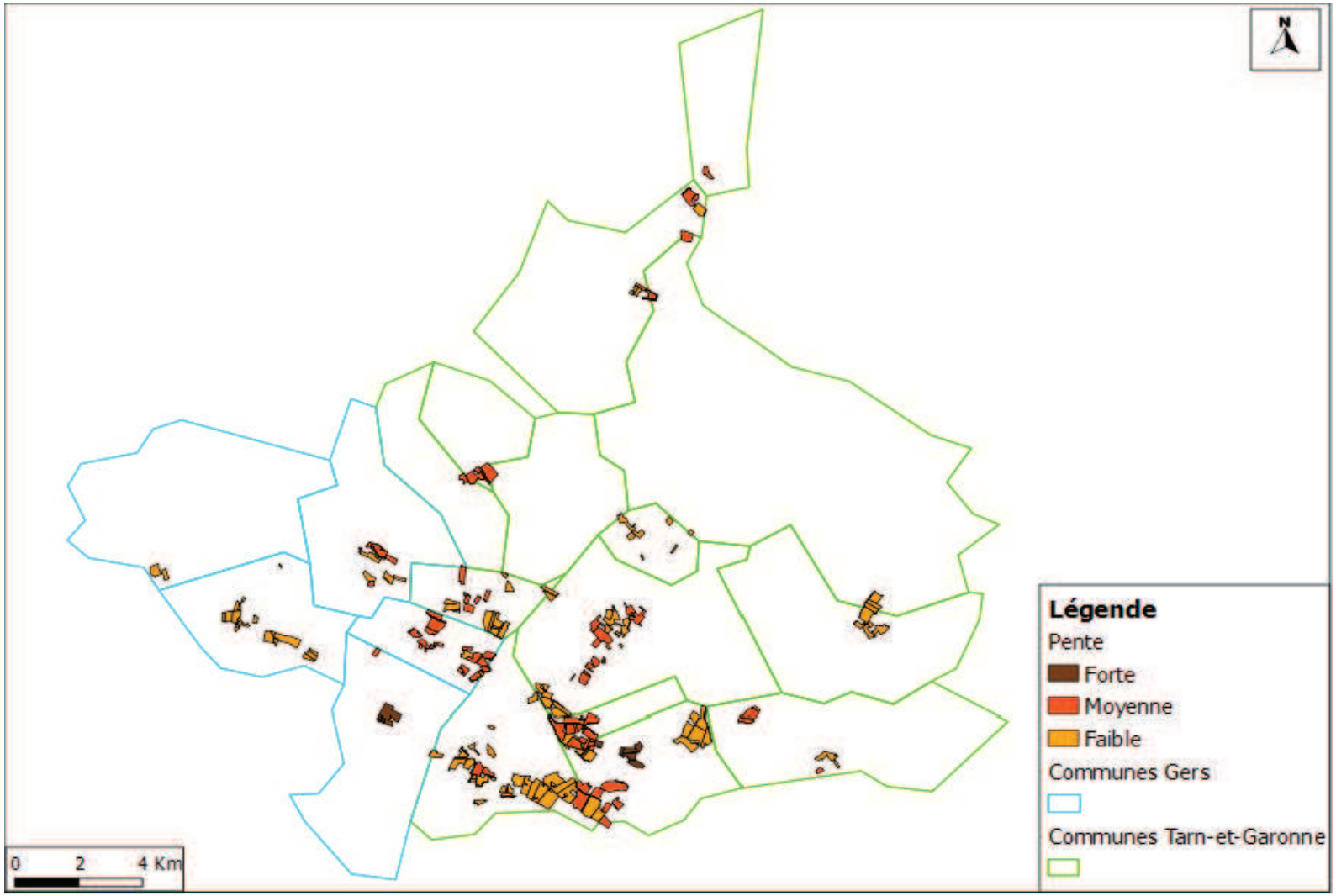
Annexe 20. Caractéristiques des parcelles culturales



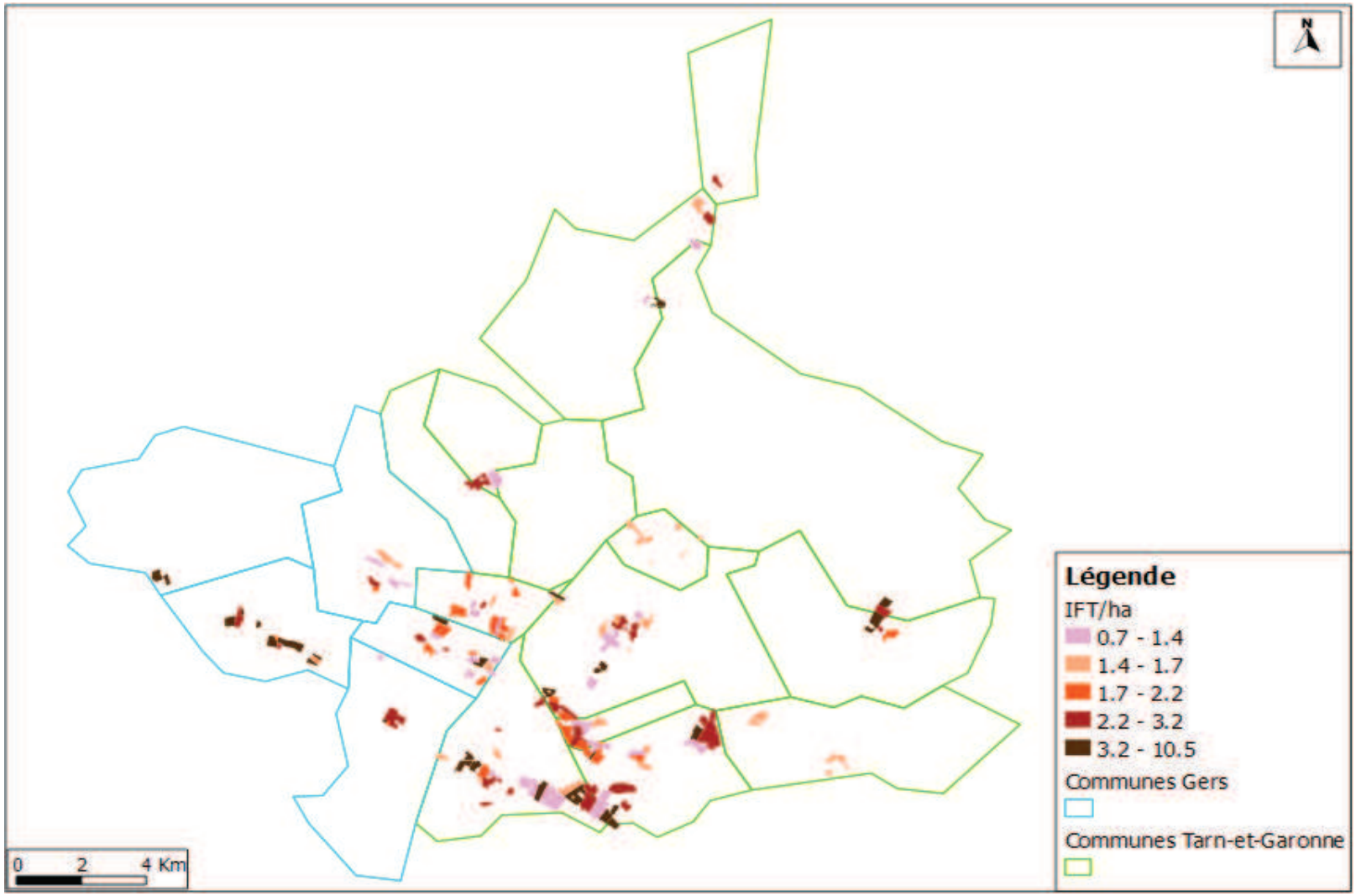
Annexe 20.1. Carte des types de sols des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)



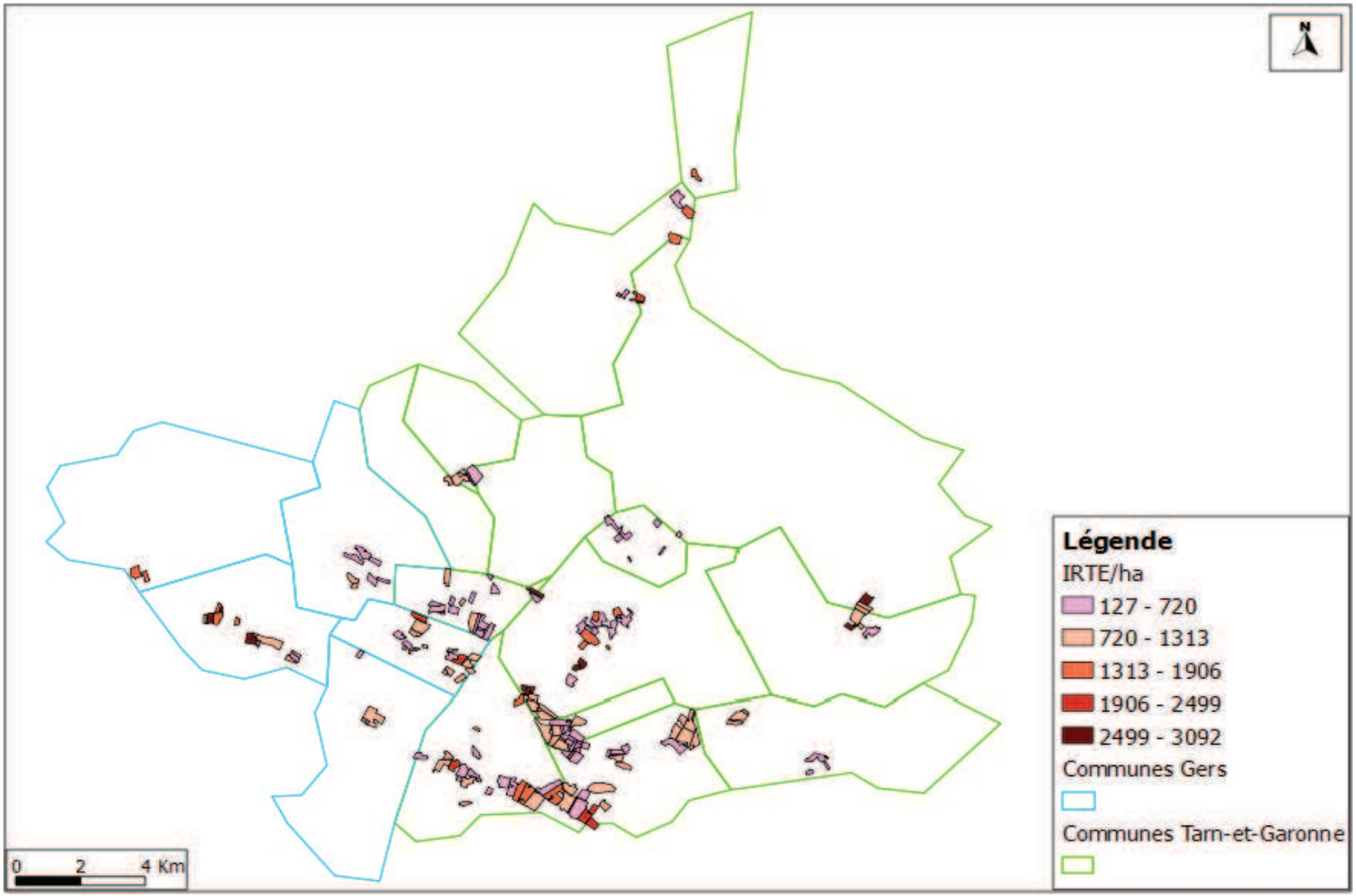
Annexe 20.2. Carte de répartition des parcelles culturales irrigables et non irrigables (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)



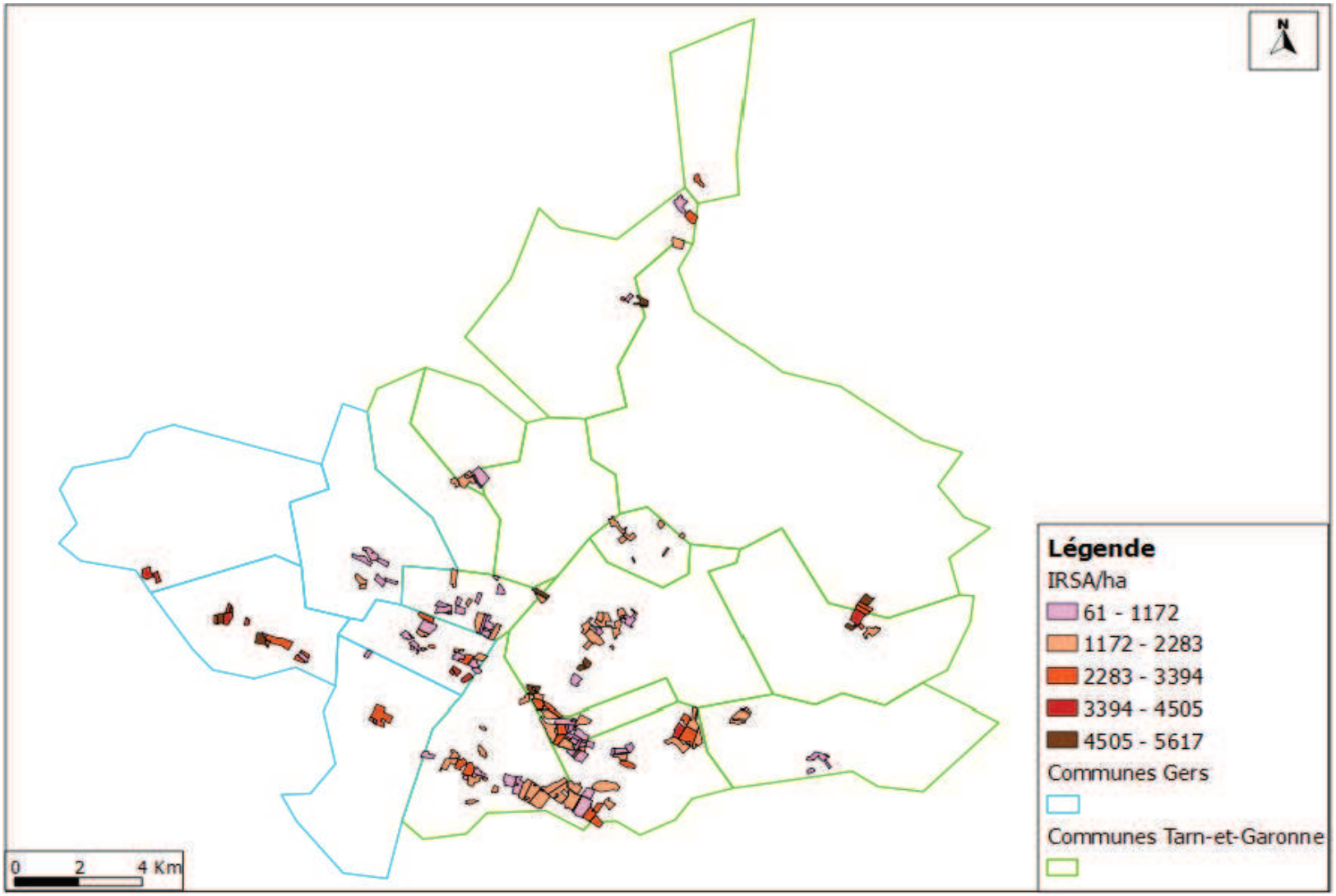
Annexe 20.3. Carte des pentes des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)



Annexe 20.4. Carte de classification des IFT pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)



Annexe 20.5. Carte de classification des IRTE pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)



Annexe 20.6. Carte de classification des IRSA pondérés/ha des parcelles culturales (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et enquêtes de terrain 2015-2016; Réalisation: Trabelsi 2016)

Annexe 21. Pourcentages de performance agro-environnementale et sociale au niveau "Parcelle" (Résultats de calcul 2015-2016)

	Pollution des eaux et des sols	Fertilité du sol	Efficience de la fertilisation azotée	IRTE	Biodiversité et ressources locales	Contrôle des ravageurs	Contrôle des adventices	Bien-être animal	IRSA	Sécurité nutritionnelle des produits
Blé tendre standard										
Exp1	70	56	75	87	43	43	54	-	70	56
Exp 2	74	40	63	83	43	30	38	-	77	40
Exp 3	81	48	88	67	43	37	46	-	63	48
Exp 4	85	24	13	67	43	40	50	27	60	24
Exp 5	74	24	13	77	43	43	50	27	77	24
Exp 6	59	44	63	67	29	33	42	-	40	44
Exp 7	70	48	88	80	43	40	46	-	73	48
Exp 8	78	44	75	77	43	33	42	60	57	44
Exp 9	70	56	75	77	43	43	54	60	70	56
Exp 10	86	73	88	100	100	79	72	-	100	73
Blé dur										
Exp 1	63	48	75	90	43	37	46	-	87	48
Exp 3	63	48	63	87	43	37	46	-	87	48
Exp 4	70	56	75	67	43	43	54	60	67	56
Exp 9	63	48	63	83	43	37	46	53	80	48
Colza semences										

Exp 1	74	32	13	3	29	47	58	-	3	32
Exp 4	78	36	13	67	43	50	63	27	63	36
Exp 5	70	20	13	47	29	40	46	20	23	20
Exp 6	70	28	13	33	14	43	54	-	17	28
Exp 7	70	20	13	53	29	40	46	-	53	20
Exp 8	67	28	13	30	14	40	50	13	3	24
Exp 9	70	36	75	37	14	27	33	47	20	36
Tournesol oléique										
Exp 1	81	20	13	87	29	37	46	-	90	20
Exp 2	81	48	88	93	43	37	46	-	80	48
Exp 3	85	24	13	87	43	40	50	-	73	24
Exp 4	85	24	13	90	43	40	50	27	77	24
Exp 5	70	28	13	67	29	43	54	20	53	28
Exp 6	78	16	13	70	14	33	42	-	50	16
Exp 7	85	24	13	93	43	40	50	-	87	24
Exp 8	74	32	13	87	43	47	58	27	77	32
Exp 9	85	24	13	93	43	40	50	27	90	24
Orge										
Exp 1	78	36	13	80	43	50	63	-	77	36
Exp 2	85	24	13	83	43	40	50	-	73	24
Exp 5	85	24	13	93	43	40	50	27	93	24

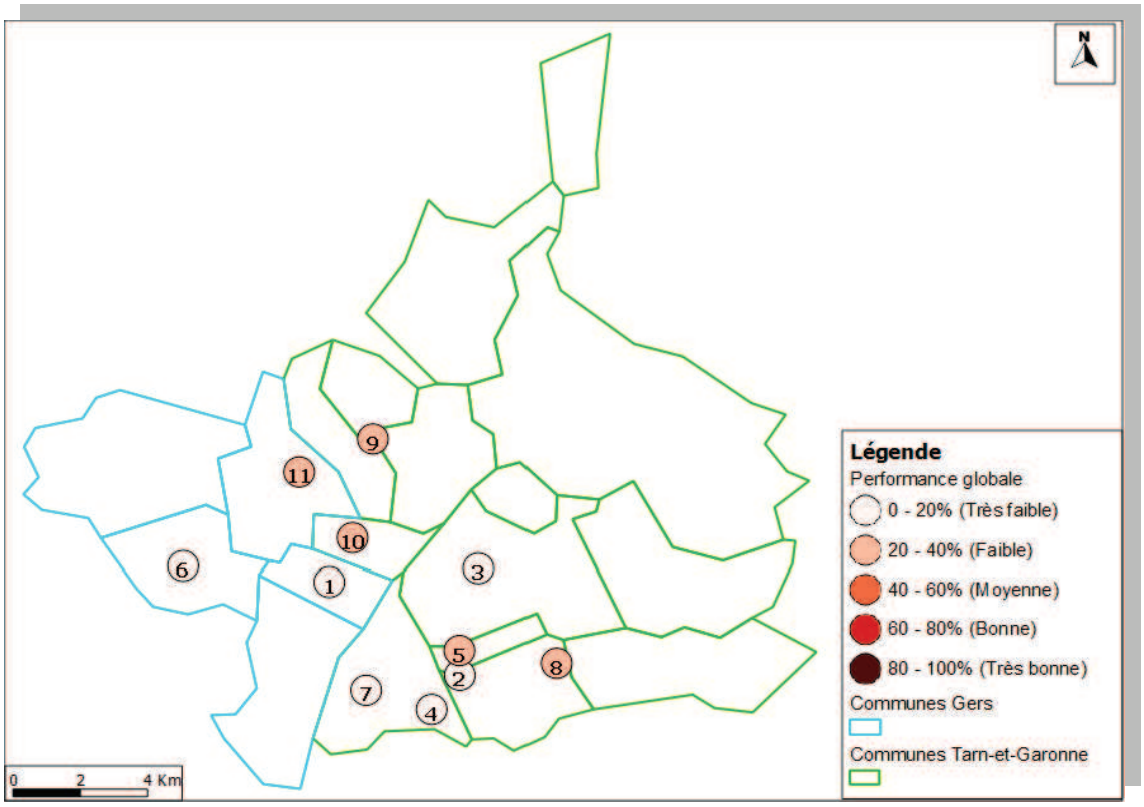
Exp 7	81	48	88	87	43	37	46	-	77	48
Mais grain										
Exp 2	81	20	13	83	29	37	46	-	93	20
Exp 4	85	24	13	87	43	40	50	27	73	24
Exp 5	85	24	13	90	43	40	50	27	83	24
Exp 6	85	24	13	90	43	40	50	-	80	24
Exp 7	85	24	13	83	43	40	50	-	57	24
Exp 8	78	16	13	73	14	33	42	13	60	16
Exp 10	100	42	13	100	100	76	68	-	100	42
Ail										
Exp 2	85	24	13	73	43	40	50	-	60	24
Exp 5	70	44	13	80	43	57	71	27	63	44
Exp 10	79	50	13	100	100	76	76	-	100	50
Triticale										
Exp 3	70	28	13	93	29	43	54	-	97	28
Exp 5	78	44	88	93	29	33	42	60	93	44
Exp 8	81	20	13	87	29	37	46	20	77	20
Exp 9	70	36	63	93	29	27	33	47	93	36
Sorgho grain										
Exp 7	85	36	13	93	43	50	63	-	93	36
Soja										

Exp 9	85	52	100	93	43	40	50	73	93	52
Exp 10	100	69	100	100	100	76	68	-	100	69
Exp 11	100	69	100	100	100	76	68	-	100	69
Grand-Epeautre										
Exp 10	100	42	13	100	100	76	68	-	100	42
Avoine										
Exp 10	100	42	13	100	100	76	68	-	100	42
Pois chiches										
Exp 10	100	69	100	100	100	76	68	-	100	69
Lentille										
Exp 10	100	69	100	100	100	76	68	-	100	69
Haricot rouge										
Exp 10	100	69	100	100	100	76	68	-	100	69
Lin										
Exp 10	93	69	13	100	100	97	96	-	100	69
Exp 11	100	42	13	100	100	76	68	-	100	42
Petit-Epeautre										
Exp 11	79	46	25	100	100	58	44	-	100	46

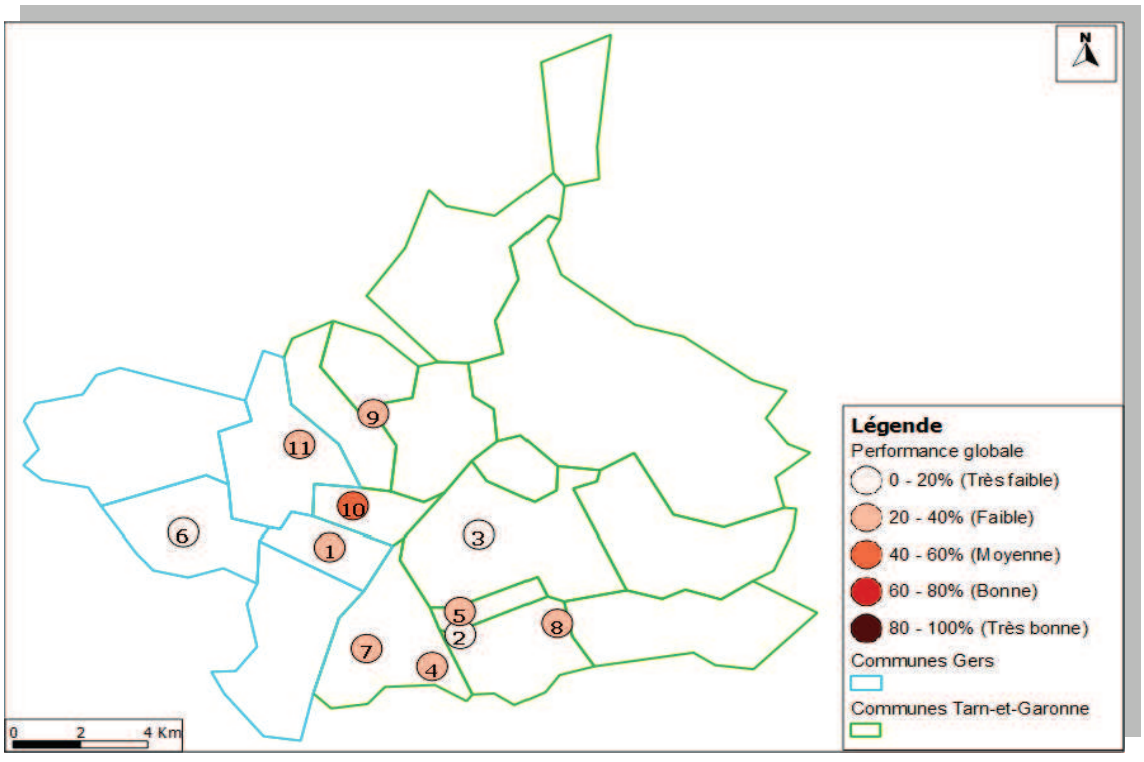
Annexe 22. Les exploitations agricoles les plus performantes par rapport aux différents indicateurs (Résultats de calcul 2015-2016)

	Blé dur	Blé tendre	Orge	Triticale	Mais grain	Tournesol oléique	Colza semences	Ail	Soja	Lin
Pollution des eaux et des sols	Exp 4	Exp 11	Exp 2 & 5	Exp 8	Exp 10	Exp 3 & 4 & 7 & 9	Exp 4	Exp 2	Exp 10 & 11	Exp 11
Fertilité du sol	Exp 4	Exp 10	Exp 7	Exp 5	Exp 10	Exp 2	Exp 4 & 9	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10
Efficience de la fertilisation azotée	Exp 1 & 4	Exp 3 & 7 & 10 & 11	Exp 7	Exp 5	Même performance pour toutes les exploitations	Exp 2	Exp 9	Même performance pour toutes les exploitations	Même performance pour toutes les exploitations	Exp 10 & 11
IRTE	Exp 1	Exp 10 & 11	Exp 5	Exp 3 & 5 & 9	Exp 10	Exp 2 & 7 & 9	Exp 4	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10 & 11
Biodiversité et ressources locales du territoire	Même performance pour toutes les exploitations	Exp 10 & 11	Même performance pour toutes les exploitations	Même performance pour toutes les exploitations	Exp 10	Exp 2 & 3 & 4 & 7 & 8 & 9	Exp 4	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10 & 11
Contrôle des ravageurs	Exp 4	Exp 10	Exp 1	Exp 3	Exp 10	Exp 8	Exp 4	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10
Contrôle des adventices	Exp 4	Exp 10	Exp 1	Exp 3	Exp 10	Exp 8	Exp 4	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10
Bien-être animal	Exp 4	Exp 8 & 9		Exp 5	Exp 4 & 5	Exp 4 & 8 & 9	Exp 9	-	-	-
IRSA	Exp 1 & 3	Exp 10 & 11	Exp 5	Exp 3	Exp 10	Exp 1 & 9	Exp 4	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10 & 11
Sécurité nutritionnelle des produits	Exp 4	Exp 10	Exp 7	Exp 5	Exp 10	Exp 2	Exp 4 & 9	Exp 10	Exp 10 & 11	Exp 10

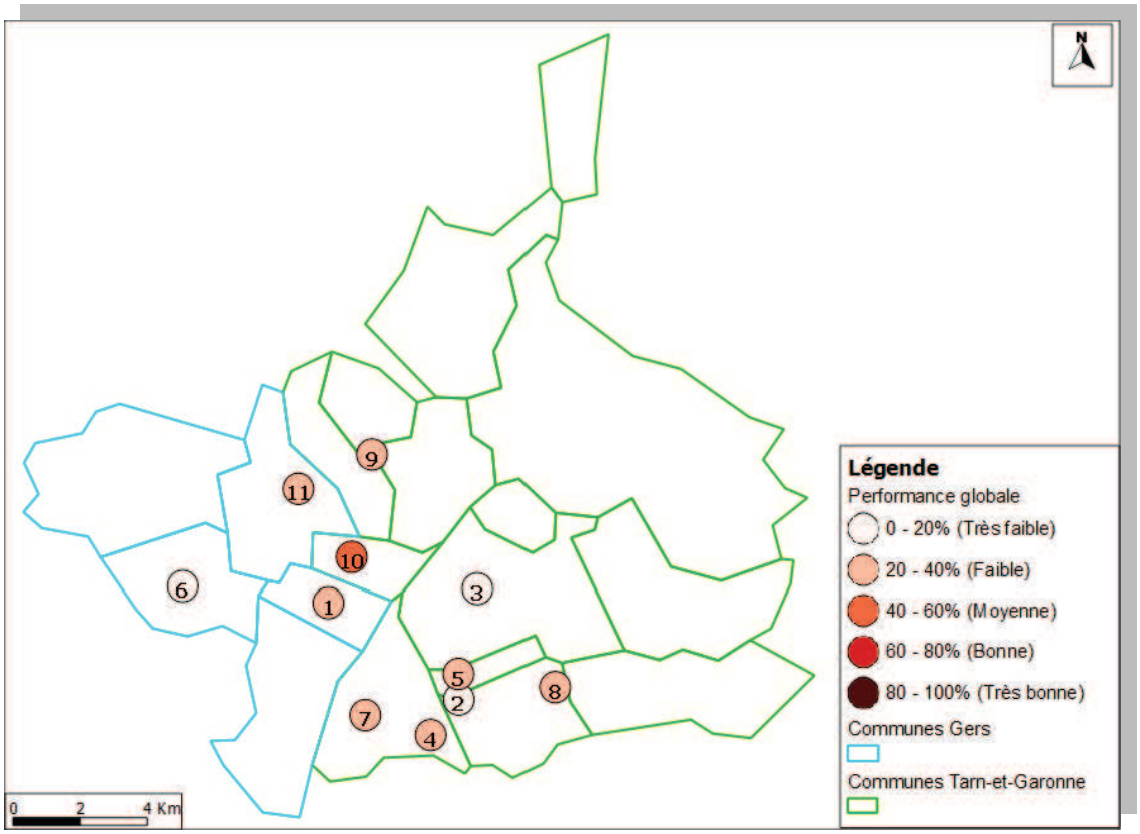
Annexe 23. Cartes des performances globales des exploitations agricoles (BDORTHO, IGN, Lambert 93 ; BDTOPO, IGN et résultats des calculs 2015-2016) (Réalisation Trabelsi 2016)



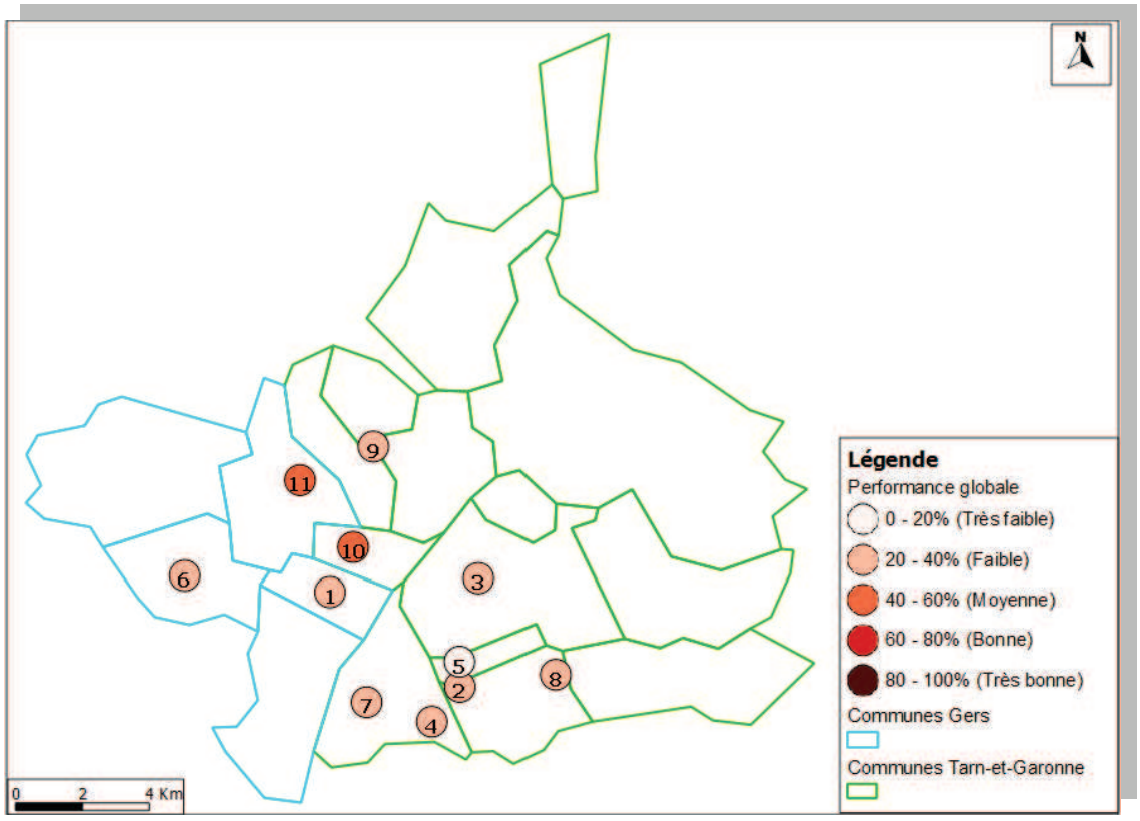
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la pollution de l'air



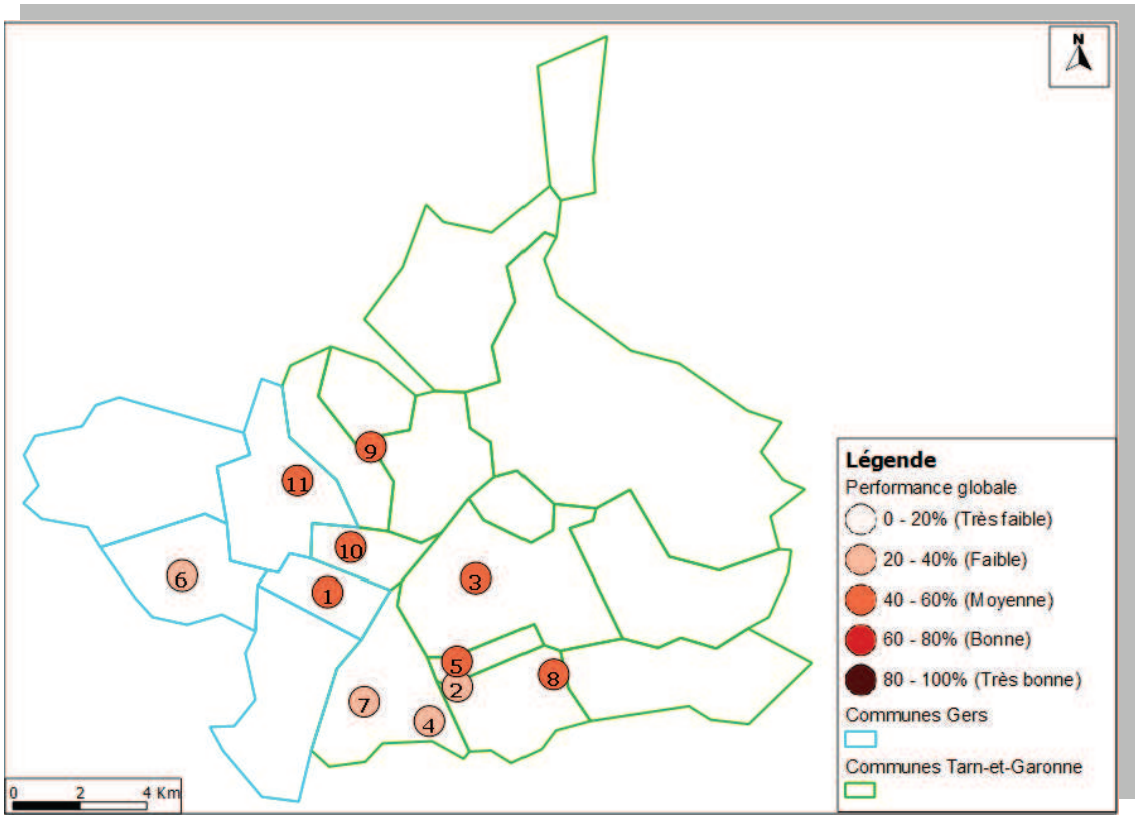
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'érosion-ruissellement



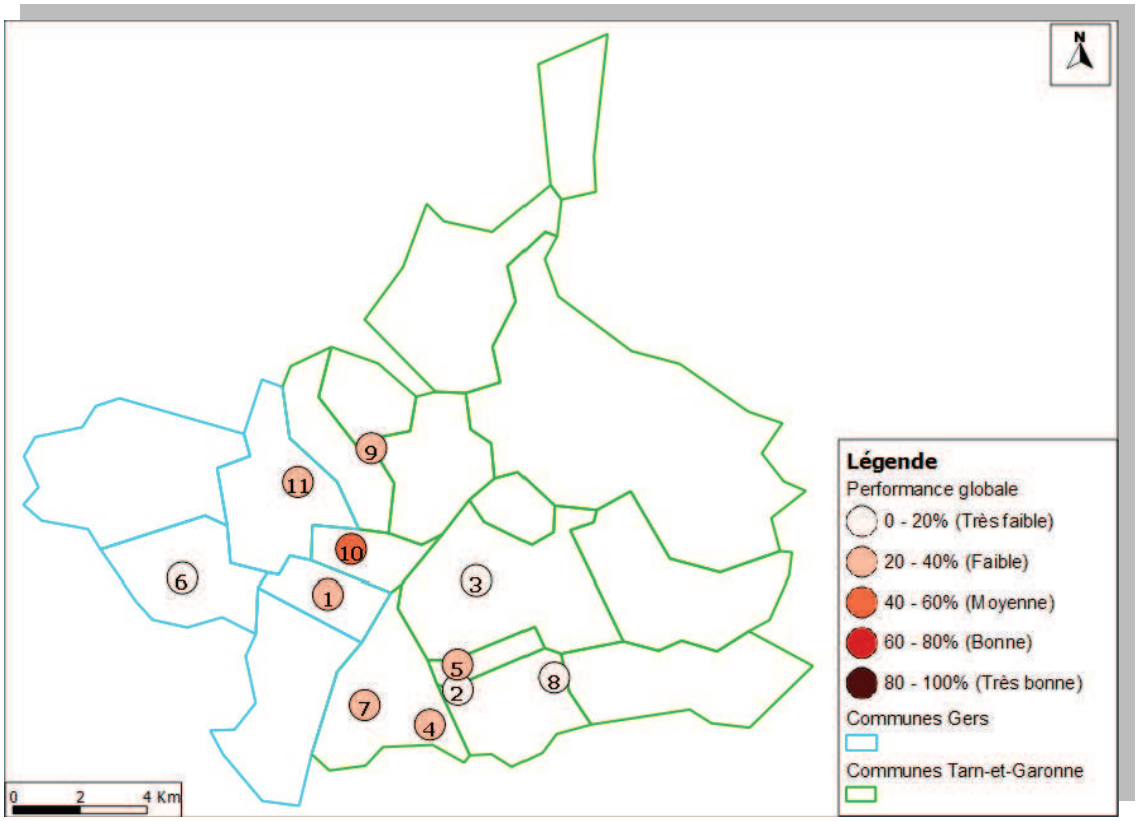
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la fertilité du sol



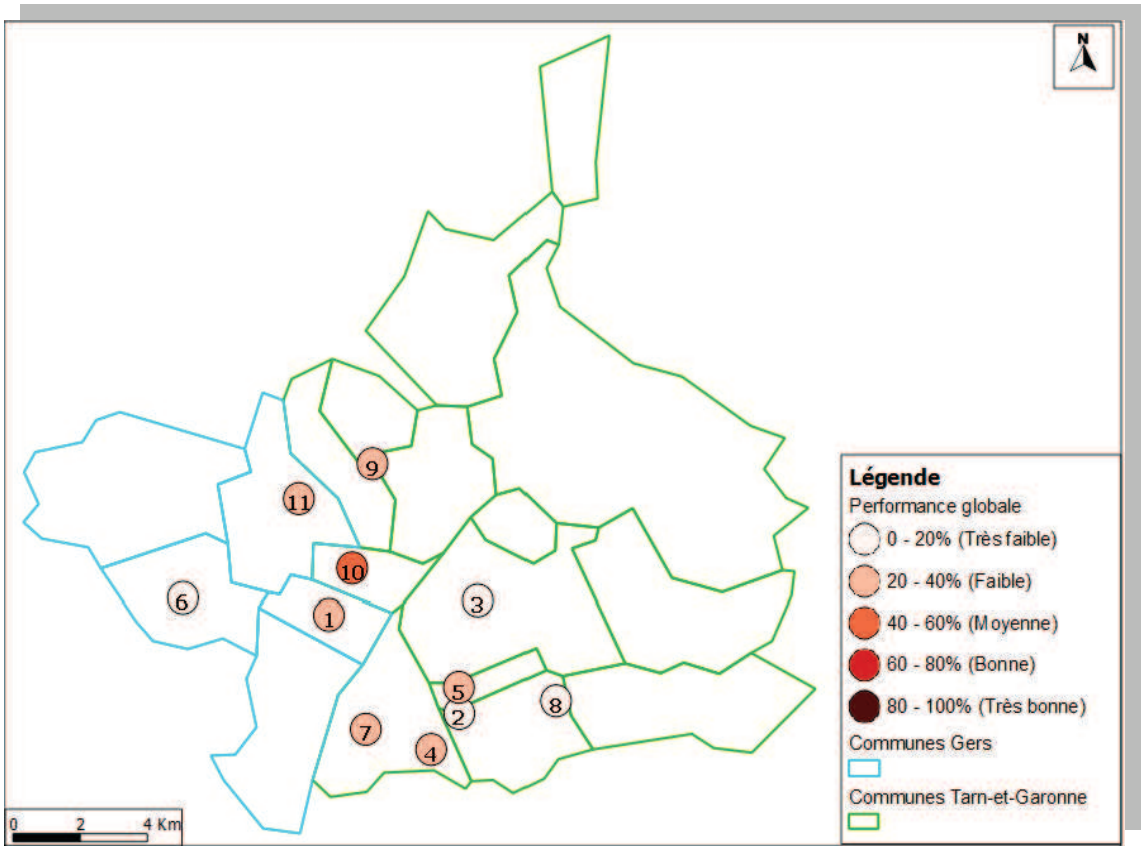
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'efficience de la fertilisation azotée



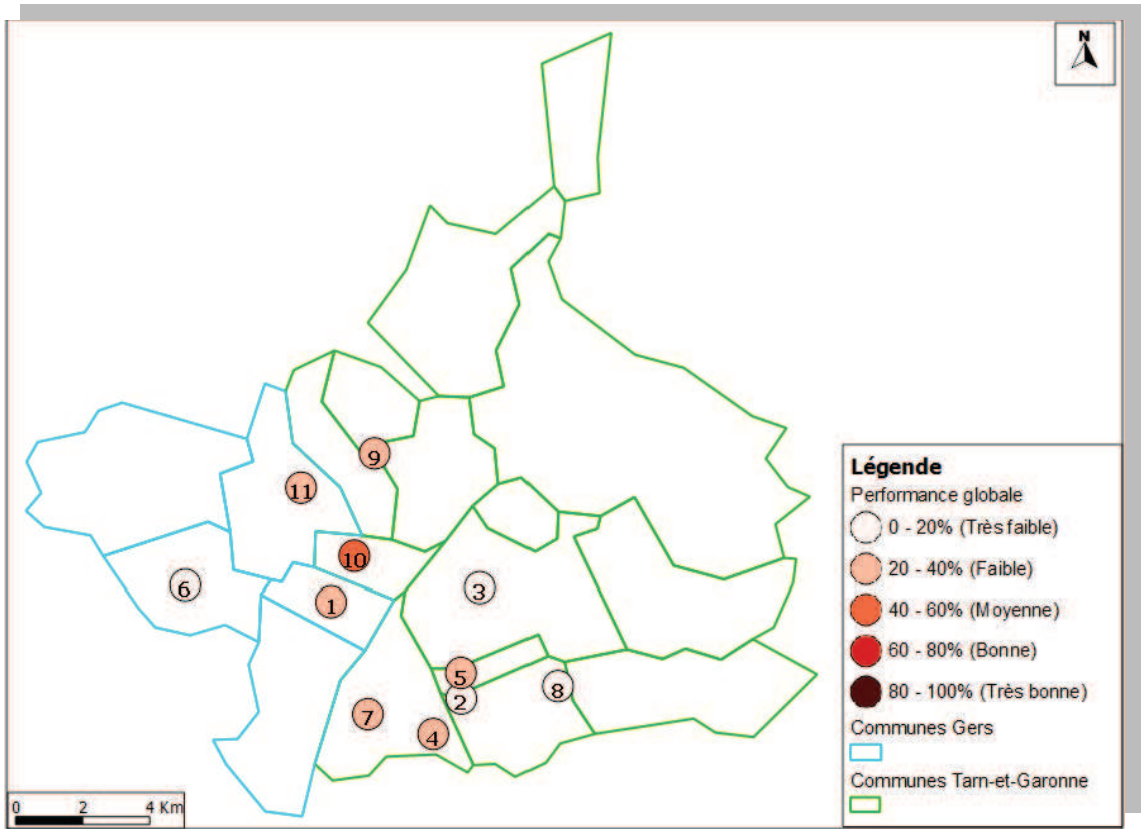
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la préservation de l'énergie



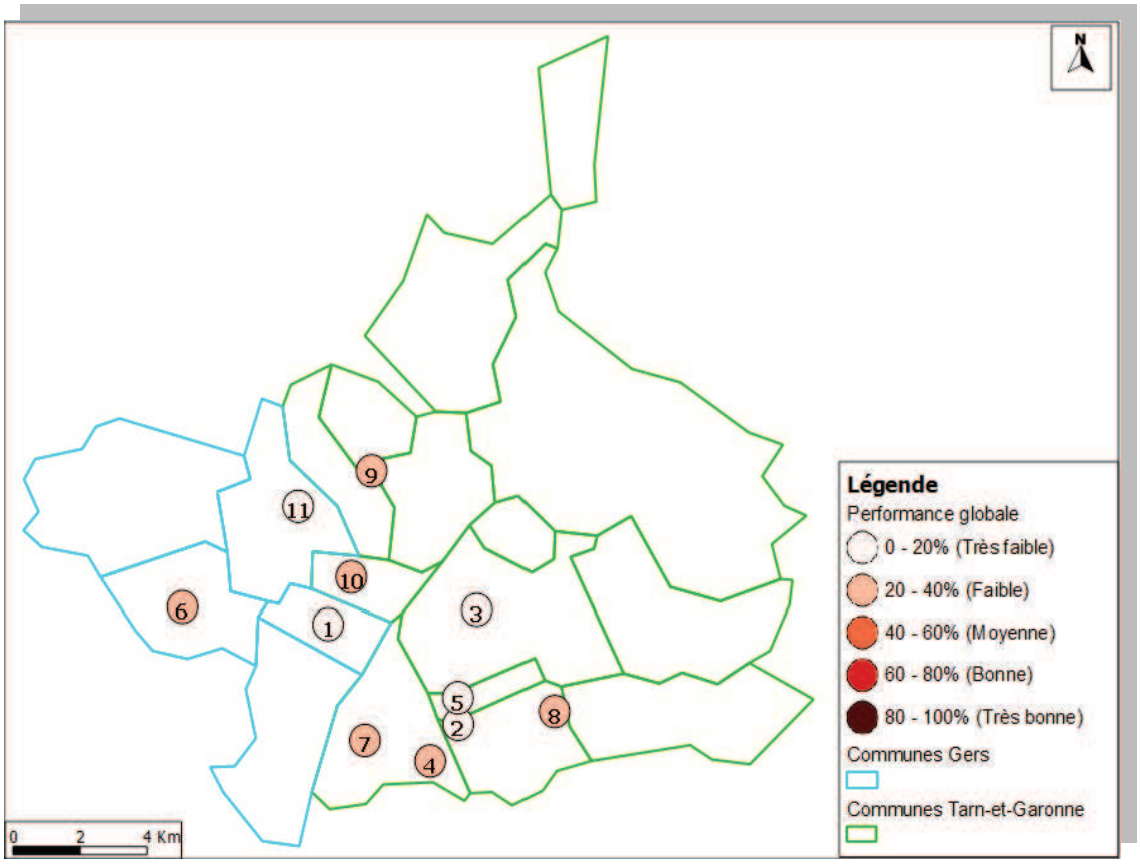
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la biodiversité et ressources locales du territoire



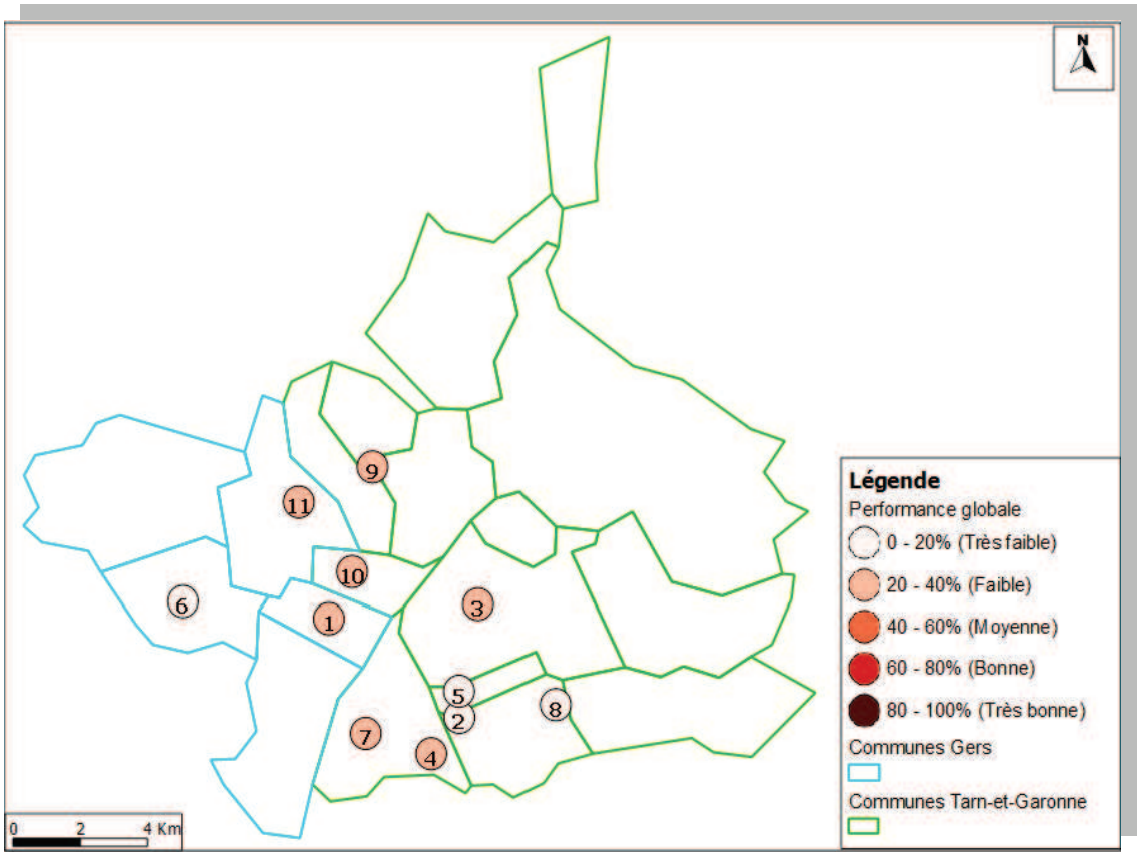
Performances globales des exploitations agricoles par rapport au contrôle des ravageurs



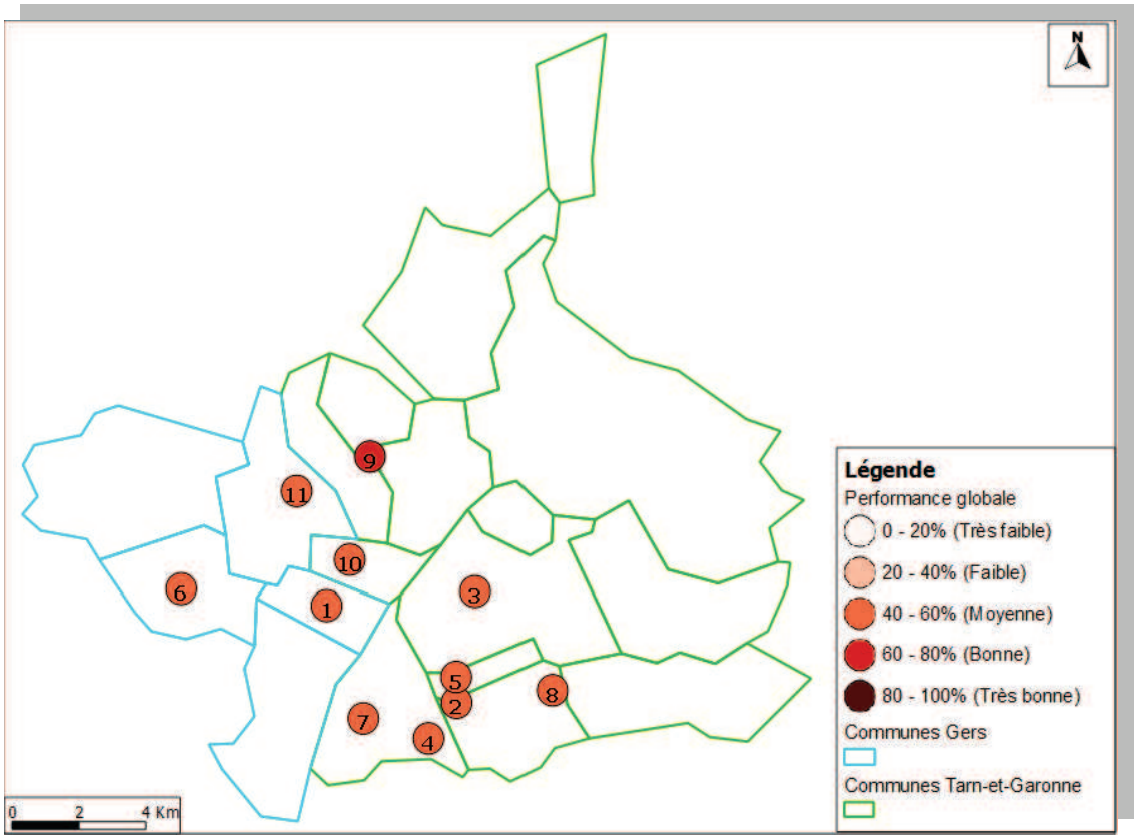
Performances globales des exploitations agricoles par rapport au contrôle des adventices



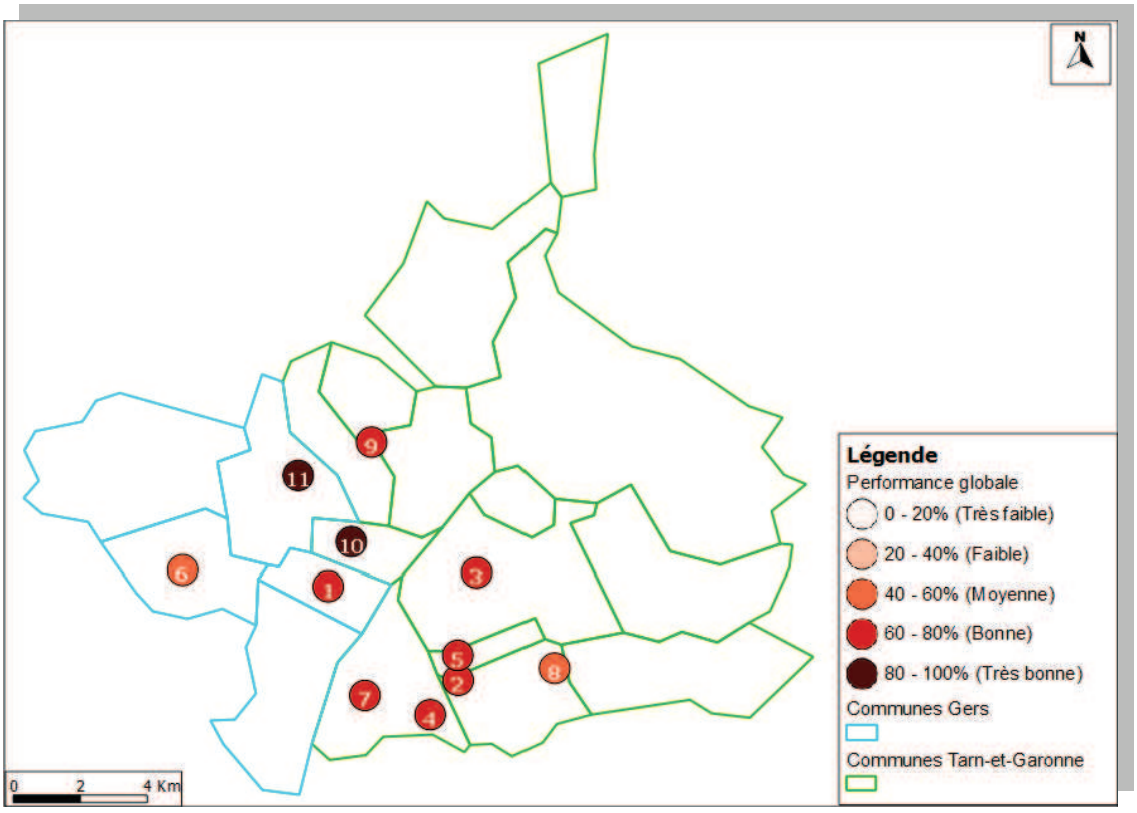
Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'implication sociale



Performances globales des exploitations agricoles par rapport à la sécurité nutritionnelle des produits



Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'intensité et pénibilité du travail



Performances globales des exploitations agricoles par rapport à l'IRSA