

Tables des matières:

Chapitre I: Introduction	19
I-1) Le Contexte local.....	19
I-2) Problématique scientifique et démarche proposée	21
I-3) Présentation de la zone d'étude	30
Chapitre II : Caractérisation des systèmes de culture à base de cocotiers	34
II-1) Objectifs	34
II-2) Méthode de caractérisation des systèmes de culture	36
II-2-1) Mise en évidence de l'organisation géographique de la cocoteraie et de ses déterminants	36
II-2-2) Construction d'un échantillon de parcelles	37
II-2-3) Description des parcelles sélectionnées	38
II-2-3-1) Histoire culturelle.....	38
II-2-3-2) Structure de la végétation.....	39
(i) Estimation de la surface.....	39
(ii) Identification des espèces	39
(iii) Densité de plantation et indices d'agrobiodiversité.....	39
(iv) Répartition horizontale de la végétation	40
(v) Répartition verticale de la végétation	41
II-2-4) Classification des parcelles en groupes structurels	42
II-2-5) Construction d'une matrice des situations culturelles	42
II-3) Résultats : l'organisation spatiale et les dynamiques temporelles des systèmes de culture	43
II-3-1) Le processus historique à l'origine de l'organisation spatiale actuelle	43
II-3-2) Caractéristiques de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers.....	47
II-3-2-1) Agrobiodiversité	48
II-3-2-2) Densité des espèces majeures : cocotiers & cacaoyers.....	51
II-3-2-3) Répartition horizontale et verticale de la végétation	54
II-3-3) Classification des parcelles en groupes structurels	55
II-3-4) Les dynamiques temporelles des systèmes de culture à base de cocotiers	57
II-3-4-1) Identification des systèmes de culture.....	57
II-3-4-2) Dynamique de la structure de la végétation.....	60
II-3-4-3) Hypothèses de fonctionnement agroécologique et des voies d'évolution des systèmes de culture	62
Chapitre III : Evaluation agroécologique des systèmes de culture à base de cocotiers.....	65

III-1) Construction du réseau de parcelles : les chronoséquences	65
III-2) Evaluation des usages et performances des systèmes de culture.....	69
III-2-1) Objectifs et démarche proposée	69
III-2-2) Usages du peuplement dans les systèmes de culture	74
III-2-2-1) Introduction	74
III-2-2-2) Démarche et méthode retenues	75
III-2-2-3) Résultats	77
a) Usages des différents types d'espèces	77
b) Usages du peuplement dans les systèmes de culture à base de cocotiers.....	78
III-2-3) Performances des systèmes de culture	82
III-2-3-1) Estimation de la production des cocotiers sur les parcelles paysannes.....	82
a) Etats des connaissances & hypothèses	82
b) Méthodes	89
b-1) Méthodes d'estimation de la production des cocotiers	89
b-2) Méthode d'estimation de l'état nutritionnel des cocotiers	93
b-3) Méthode d'estimation des attaques de parasites et ravageurs.....	95
c) Résultats : la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo	95
c-1) Les facteurs déterminants de la production en coprah sur les parcelles paysannes.....	95
c-2) Evolution de la production de coprah au cours du développement des cocotiers.....	102
III-2-3-2) Estimation de la production des espèces herbacées alimentaires sur les parcelles paysannes de cocotiers	106
a) Problématique de l'évaluation espèces herbacées alimentaires sur les parcelles paysannes.....	106
b) Méthode d'estimation de la production des « jardins vivriers »	108
c) Résultats.....	111
III-2-3-3) Estimation de la production des situations culturelles et des systèmes de culture paysans	112
a) Estimation de la production de situations culturelles	113
b) Estimation de la dynamique temporelle de la production des systèmes de culture paysans	117
III-3) La dynamique des états du milieu dans les systèmes de culture	121
III-3-1) Introduction.....	121
III-3-2) Bilan radiatif	123
III-3-2-1) Problématique de l'évaluation du bilan radiatif sur des parcelles paysannes	123
III-3-2-2) Méthodes et dispositifs retenus	127
a) Evaluation du rayonnement disponible sur les parcelles paysannes	127
a-1) Dispositif	127
a-2) Protocole de prise de vue	128
a-3) Traitement des photos hémisphériques	129
b) La plate-forme Archimed : outil de simulation du rayonnement sous le couvert de cocotiers.....	129
b-1) Calibrage des maquettes architecturales pour différentes classes d'âges de la population de cocotiers GVT	129
b-2) Vérification de la cohérence des sorties du modèle avec le bilan radiatif calculé à partir de photos hémisphériques.....	130

b-3) Plan et protocole de simulation.....	132
III-3-2-3) Résultats : évolution du bilan radiatif au cours du développement des cocotiers....	132
a) Evolution du bilan radiatif sur les parcelles paysannes	132
b) Effet de l'altération du motif de plantation sur la quantité et la répartition du rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers	134
III-3-3) Encombrement racinaire	139
III-3-3-1) Problématique de l'évaluation de l'encombrement racinaire sur des parcelles paysannes	139
III-3-3-2) Méthodes et dispositifs retenus	143
a) Caractérisation de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes :	143
a-1) Dispositif	143
a-2) Protocole	144
b) Le modèle RACINE : outil de simulation de l'encombrement racinaire sur les parcelles de cocotiers	145
b-1) Simplification et calage du modèle	145
b-2) Plan et protocole de simulation.....	145
III-3-3-3) Résultats : évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers	146
a) Evolution de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes.....	146
b) Effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement racinaire	151
III-3-4) Dynamiques de la matière organique du sol.....	156
III-3-4-1) Les indicateurs de fertilité et l'évaluation de la matière organique	156
III-3-4-2) Dispositif et Méthode retenus	157
a) Dispositif et protocole de prélèvement des échantillons	157
b) Détermination de la teneur en matière organique du sol par spectrophotométrie dans le proche infra-rouge (NIRS)	160
III-3-4-3) Résultats : évolution de la teneur en matière organique du sol au cours du développement des cocotiers.....	162
Chapitre IV : Discussion.....	165
IV-1) Les limites et perspectives des outils de caractérisation et d'évaluation des systèmes de culture plurispécifiques	165
IV-2) Les systèmes de culture à base de cocotiers actuellement mis en œuvre sur l'île de Malo sont-ils agroécologiquement durables ?	175
IV-3) Quelle perspectives de développement pour les parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo?	182
IV-4) Les limites de l'approche proposée pour caractériser et évaluer les systèmes de culture paysans à base de cocotiers	184
Conclusion & Perspectives	187
Bibliographie	189
Annexes	201

Listes des figures

Figure 1: La diversité d'association sur les parcelles paysannes de cocotiers	24
Figure 2: Carte de Situation	30
Figure 3: Diagramme ombrothermique réalisé à partir des données climatiques relevées sur la station de recherche VARTC (ex station de Saraoutou, IRHO)	32
Figure 4 : Localisation des parcelles de l'échantillon dans la zone d'étude	38
Figure 5: Les différents types théoriques de la répartition horizontale d'une espèce et leur superposition pour représenter un exemple de répartition horizontale de la végétation sur une parcelle.	40
Figure 6: Les différents types théoriques de répartition verticale de la végétation et les positionnements de l'espèce majeure dans ces profils (inspiré de Schütz 1997).	41
Figure 7: La dynamique d'implantation de la cocoteraie sur Malo (extrait de Lamanda et al., 2004).	44
Figure 8: Fréquence de présence des différentes espèces ligneuses sur les parcelles de l'échantillon.	49
Figure 9 : Fréquence de présence des différentes espèces herbacées « utiles » sur les parcelles de l'échantillon.	50
Figure 10 : Fréquence des différentes classes de densité des cocotiers sur les parcelles de l'échantillon	51
Figure 11 : Evolution de la densité de cocotiers au cours du développement des cocotiers ..	53
Figure 12 : Classification des parcelles de cocotiers en groupes structurels	56
Figure 13: Matrice des situations culturelles sur les parcelles de cocotiers de l'île de Malo ..	59
Figure 14 : Évolution de la structure de la végétation au cours du développement des cocotiers pour les 5 systèmes de culture identifiés sur l'île de Malo	61
Figure 15: Les trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SdC III-IV) retenues pour l'évaluation agroécologique des systèmes de culture à base de cocotier de l'île de Malo	67
Figure 16 : Raisonnement permettant de décider si les densités des cocotiers observées sur deux parcelles peuvent être comparées ou pas.	68
Figure 17 : Exemple théorique d'estimation de la production d'une parcelle paysanne.	73
Figure 18 : Interactions entre les composantes du peuplement sur les parcelles paysannes de cocotiers	85
Figure 19: Evolution de la production au cours du développement des cocotiers (compilation des données bibliographiques).	91
Figure 20: Evolution de la production potentielle (en équivalent coprah) au cours du développement des cocotiers pour les trajectoires agropastorale et agroforestière (SdC I et III-IV).	97
Figure 21: Evolution de la production de coprah récoltée au cours du développement des cocotiers pour les trajectoires agropastorale et agroforestière (SdC I et III-IV).....	98
Figure 22: Effet de la densité de plantation des cocotiers sur la production en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	99
Figure 23: Effet du nombre de noix par cocotier et par an sur la production en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	100
Figure 24: Relation entre densité et nombre de noix produites par cocotier et par an sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	100
Figure 25: Evolution de la densité de plantation et du taux de chute des cocotiers au cours du temps sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	101
Figure 26 : Tendance d'évolution de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo.	103

Figure 27 : Influence de la structure de la végétation et de la densité des cocotiers sur les tendances d'évolution de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	104
Figure 28 : Imbrication des cycles de culture des différentes espèces dans les jardins	107
Figure 29 : exemple de stratification du peuplement sur une parcelle de jardin théorique de 10*10m dans laquelle sont cultivées 6 espèces(extrait de Morelli, 2003).....	107
Figure 30 : Exemple d'estimation de la production d'une parcelle paysanne de cocotiers : a = groupe I _{1C} , trajectoire agropastorale, b = II _{1B} , trajectoire agroforestière, c = groupe I _{1A} , trajectoire agropastorale), et d = groupe I _{3A}	115
Figure 31 : Dynamique de production des différentes catégories d'espèces dans les différents systèmes de culture paysans (SdC I et III-IV)	118
Figure 32 :Tendance d'évolution du rayonnement sous le couvert de cocotiers proposée par Nelliati et al.(1974)	123
Figure 33 : Dispositif des prises de vue par photos hémisphériques pour mesurer le bilan radiatif sur les parcelles paysannes (3 répétitions).	128
Figure 34 : Plan d'échantillonnage pour la prise de photos hémisphériques permettant la caractérisation du rayonnement sous le couvert cocotier étudié pour les maquettes architecturales.	130
Figure 35 : Scènes de simulation du bilan radiatif (a) cocotiers plantés en carré de 8*8m (i.e. densité de 156 cocotiers.ha ⁻¹) (b) même scène avec un cocotier manquant (c) même scène avec deux cocotiers manquants.....	132
Figure 36 : Evolution du bilan radiatif au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo.....	133
Figure 37 : Carte de répartition du rayonnement transmis pour (a) des cocotiers de 6, 20, 35 et de 60 ans avec un dispositif régulier de plantation en carré de 8 m de côté, (b) pour des cocotiers de 35 et de 60 ans avec un cocotier manquant dans la scène et (c) pour des cocotiers de 35 et de 60 ans avec deux cocotiers manquants dans la scène.	135
Figure 38 : exemple de l'évolution en fonction de l'âge des cocotiers de la proportion de la surface de la scène où le rayonnement au niveau du sol est > à X%.	136
Figure 39 : exemple d'utilisation des cartes de répartition du rayonnement sous le couvert de cocotiers simulées via Archimed pour prédire les possibilités d'association de cultures (ici seuil X = 50 %)	137
Figure 40 : Encombrement racinaire dans les systèmes agroforestiers à base de cocotiers (reproduit de Nelliati et al., 1974).....	140
Figure 41 : Position des grilles d'évaluation de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes (a) pour un motif de plantation régulier et (b) pour un motif de plantation altéré par l'absence d'un cocotier.	144
Figure 42 : Evolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes (trajectoire agropastorale).....	147
Figure 43 : Simulation de l'encombrement par les racines primaires de cocotiers au cours du temps.....	150
Figure 44 : Effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement racinaire des parcelles paysannes (trajectoire agropastorale)	153
Figure 45 : Simulation de l'effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement par les racines primaires de cocotiers	154
Figure 46 : Dispositif retenu pour la caractérisation de l'évolution de la teneur en matière organique du sol dans les systèmes de culture à base de cocotiers	158
Figure 47 : Localisation des prélèvements pour mettre en évidence l'existence de gradients horizontaux et verticaux dans la répartition de la teneur en matière organique du sol des parcelles paysannes.	158
Figure 48 : Recherche de l'existence d'un gradient horizontal dans la répartition de la matière organique du sol sur les parcelles paysannes de Malo	

(ACP sur les coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge).....	159
Figure 49: Recherche de l'existence d'un gradient vertical dans la répartition de la matière organique du sol sur les parcelles paysannes de Malo (ACP sur les coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge).....	160
Figure 50 : Exemple de prédiction des teneurs de Carbone et Azote dans les échantillons de sol de plateaux de l'île de Malo	161
Figure 51: Effet du système de culture et de l'âge des cocotiers sur la teneur en matière organique du sol (en % de la MOS avant plantation des cocotiers dans les 0-20 premiers cm de sol) des parcelles paysannes de Malo.....	163
Figure 52: Estimation de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.....	171
Figure 53: Les générations passent, les objectifs évoluent (extrait d'un article sur les problèmes fonciers dans Pacific Weekly, Octobre 2002).....	185

Listes des tableaux

Tableau 1: les caractéristiques de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers de Malo	47
Tableau 2: Caractéristiques des différents groupes structurels	57
Tableau 3 : fonctions et usages du peuplement classiquement décrits pour les systèmes agroforestiers.....	75
Tableau 4 : Les différentes utilisations du cocotier sur l'île de Malo (Vanuatu).	77
Tableau 5: Usages du peuplement dans les systèmes de culture à base de cocotiers (trajectoires agropastorales).....	79
Tableau 6: les composantes de la production de coprah en culture monospécifique (d'après Frémond et al., 1966).....	84
Tableau 7: Hypothèses concernant les facteurs limitant la production de coprah sur les parcelles paysannes et moyens d'estimation de ces facteurs.	88
Tableau 8 : Les différents dispositifs de mesures pour évaluer la production des cocotiers dans les systèmes de culture paysans.	95
Tableau 9: les composantes du rendement sur les parcelles de cocotiers paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	96
Tableau 10 : Effet du système de culture sur la production potentielle en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	96
Tableau 11 : Effet du système de culture sur la production de coprah récoltée sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.....	97
Tableau 12: état nutritionnel des cocotiers sur sol de plateau (SdC I) : résultats du diagnostic foliaire.	102
Tableau 13 : exemple de calcul de la densité et de l'occupation du jardin par les différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28	108
Tableau 14: exemple de calcul de la productivité des différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28	110
Tableau 15: exemple de calcul de la productivité corrigée des différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28.	111
Tableau 16 : Comparaison des pourcentages de transmission sous cocoteraie calculés à partir du traitement des photos hémisphériques et par simulation via la plate-forme Archimed avec des maquettes architecturales calibrées pour des cocotiers GVT de 6, 20 et 35 ans.....	131
Tableau 17: Teneurs en matière organique du sol (en % dans les 0-20 premiers cm de sol) pour les différents stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture paysans.....	162

Tableau 18 : Teneurs en matière organique du sol (en % dans les 20-35 premiers cm de sol) pour les différents stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture paysans. 162

Listes des annexes

Annexe 1 : Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens (synthèse bibliographique).

Annexe 2 : Exemple d'enquête sur l'histoire culturelle des parcelles de cocotiers.

Annexe 3 : méthodes d'estimation de la surface des parcelles.

Annexe 4 : Exemple de grille de relevés des différents critères de structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers.

Annexe 5 : Matrice des usages des espèces sur les parcelles paysannes de cocotiers (établie à partir de la bibliographie et des dires d'acteurs).

Annexe 6 : Tableaux simplifiés des usages du peuplement pour différents groupes structurels

Annexe 7 : Architecture et biologie florale des cocotiers (repérage de la palme 14).

Annexe 8 : Modalité de la récolte du coprah sur les parcelles paysannes

Annexe 9 : Estimation de l'état nutritionnel des cocotiers – méthode du diagnostic foliaire.

Annexe 10 : Exemple de calcul de la production d'une zone de jardin vivrier sur une parcelle paysanne de cocotier en production.

Annexe 11 : Protocole et fichier paramètre pour le calibrage des maquettes architecturales de cocotiers GVT

Annexe 12 : Prédiction des paramètres architecturaux en fonction de l'âge des cocotiers.

Annexe 13 : Exemple de fiches de mesures de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes de cocotiers.

Annexe 14 : Distinction des types de sols de l'île de Malo en fonction de leur coordonnées spectrales dans le proche infra rouge

Annexe 15 : Liste des espèces composant le couvert herbacé des parcelles paysannes de cocotiers sur l'île de Malo

Annexe 16 : Analyse de la composition minérale du sol des parcelles paysannes de cocotiers de Malo

GLOSSAIRE

- Agrobiodiversité :

L'ensemble des espèces cultivées (ou potentiellement utilisables) de la parcelle. De fait, cela correspond à toutes les espèces de la parcelle à l'exception de celles qui composent le couvert herbacé spontané (pouvant également être considéré comme utile quand pâturé par des bovins). L'agrobiodiversité est exprimée en terme de richesse du peuplement (nombre d'espèces potentiellement utilisables) et de l'indice de diversité de Shanon Weaver.

- Espèces majeures :

Par espèce majeure, on entend ici l'espèce qui correspond à la principale production de la parcelle ou l'espèce sur laquelle l'étude se concentre, en général elle correspond également à l'espèce la plus représentée en nombre et surface sur la parcelle. Le cocotier est l'espèce majeure des systèmes de culture étudiés.

- Fonctionnement agroécologique : correspond dans ce travail au fonctionnement biophysique du peuplement de la parcelle, essentiellement en terme de relations de compétitions inter et intra spécifiques pour l'utilisation des ressources du milieu.

- Indicateur : Critère mesurable pour décrire ou quantifier un aspect des parcelles paysannes de cocotier. Le nombre d'espèces et le nombre de strate dans le peuplement sont deux exemples d'indicateurs de structure du peuplement. La quantité de coprah récoltée sur la parcelle, la quantité produites par les espèces herbacées alimentaires sont deux exemples d'indicateur de production des parcelles, la teneur en matière organique du sol est un exemple d'indicateur de fertilité du sol et un indicateur de la durabilité agroécologique du système de culture.

- Outils de diagnostic : Les indicateurs de production sont des outils de diagnostic des performances des parcelles, la modélisation, permettant des expériences virtuelles, est un autre exemple d'outil de diagnostic des systèmes de culture.

- Production :

Le fait de créer ou de transformer des biens ou des services, ou en d'autres termes les sorties du système considéré (Larousse, 2003). Pour une parcelle, ce sont les sorties de matière (pouvant avoir différents usages) mais aussi les services sociaux et écologiques.

- Parcelle :

Surface appartenant au même exploitant sur laquelle on retrouve un même type de structure de la végétation et un même stade de développement des cocotiers.

A partir de cette définition, on peut être amené à distinguer plusieurs parcelles à l'intérieur d'un même champ (au sens de la parcelle cadastrale d'un exploitant).

- Situation culturelle :

Etat d'une parcelle à un moment donné (celui de l'observation) en définissant à la fois la structure de la végétation (en termes d'associations végétales, mais aussi de variété, de densité et dispositif de plantation des cocotiers) et le stade de développement des cocotiers. Une situation culturelle correspond à une case de la matrice, c'est à dire à l'intersection d'un type de groupe structurel et d'un stade de développement de l'espèce majeure (ici des cocotiers).

- Trajectoires :

Succession de structure de la végétation au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.

Chapitre I: Introduction

I-1) Le Contexte local

Dans les îles du nord de l'archipel du Vanuatu (Mélanésie), les cocoteraies se développent depuis le début du 20ème siècle, modifiant progressivement les systèmes traditionnels (Bonnemaison, 1996 ; Weightman, 1989). Le coprah, produit obtenu par séchage de la chair de la noix de coco mature et commercialisé pour l'exportation, y représente la première source de revenu monétaire des populations rurales.

Depuis plusieurs siècles, le système traditionnel mélanésien est un système horticole sur brûlis avec de longues périodes de jachères arborées. Il fonctionne selon un processus d'agriculture semi-itinérante ; le jardin revenant à chaque décennie environ sur la même parcelle après un parcours sur une superficie définie et limitée (Barrau, 1955 ; Bonnemaison, 1996 ; Walter *et al.*, 2003). L'une des principales caractéristiques de ce système de culture mélanésien « traditionnel » est sa « vocation à la fois sociale et politique, tout autant qu'alimentaire » (Weightman, 1989). Ce système¹ repose essentiellement sur des jardins vivriers où sont cultivés des racines et tubercules à multiplication végétative (ignames, taros et macabos, etc.). Ce système est complété par l'élevage de cochons et l'arboriculture fruitière. Le cocotier (*Cocos nucifera* L.) fait partie de cette arboriculture fruitière, parmi bien d'autres espèces (manguiers, arbres à noix...). Les utilisations du cocotier sont nombreuses et variées : autoconsommation (eau, lait obtenu en râpant puis en pressant la chair), rituelles (échange de noix au cours de cérémonies coutumières), artisanat (palmes pour la confection de nattes), etc....

Ce système de production a été progressivement et profondément bouleversé avec le développement de nouvelles valeurs concomitantes à l'installation des cocoteraies dédiées à la production de coprah (Bonnemaison, 1974). Les systèmes de production actuels combinent les composantes du système traditionnel et les cocoteraies apparues au début du 20ème siècle. Ce mode de culture, où les cocotiers sont maintenus pendant plus de 50 ans sur la parcelle, conduit à la fixation des terres cultivées et à la réduction progressive de l'espace allouable aux autres composantes du système de production (jardins vivriers traditionnels, jachère, etc....). Se pose alors la question de la durabilité du système et de sa reproductibilité dans un espace fini comme celui des milieux insulaires.

Depuis deux décennies, comme la majorité des matières premières agricoles, le coprah souffre d'une baisse tendancielle de son cours mondial. Ce cours a subi un effondrement sans précédent à partir de l'an 2000, mettant en péril les économies des états insulaires du Pacifique. L'éloignement des grands centres de consommation internationaux et des grandes routes maritimes, la dispersion des acteurs de la filière et l'étroitesse du marché local associés au coût relativement élevé du travail salarié rendent encore plus difficile le développement

¹ Une synthèse bibliographique présentant l'état des connaissances sur le fonctionnement agroécologique du système de culture « jardin mélanésien » est proposée en annexe 1

des filières agricoles basées sur des cultures de rente pour ces pays qui souffrent d'un manque structurel de compétitivité (Ribier et Rouzière, 2000). Parallèlement, avec un taux annuel de croissance démographique moyen de 2,6 % (et 4,2 % pour les zones urbaines), la population du Vanuatu devrait doubler tous les 27 ans et approcher 375000 habitants en 2025, dont un tiers résidera en zone urbaine (VSO, 2000). Actuellement, les exportations de produits agricoles parviennent difficilement à couvrir l'importation de produits alimentaires et de nombreux auteurs ont exprimé des inquiétudes concernant la dépendance alimentaire du Vanuatu vis-à-vis de l'extérieur, alors que le pays dispose de potentialités agricoles qui lui permettraient de s'en affranchir (Bonnemaison, 1996; Lebot et Siméoni, 1999; Welegtabit, 2001).

En conséquence de la baisse des cours, les producteurs de coprah du Vanuatu sont régulièrement confrontés à une baisse de leur revenu. Or, la monétarisation des zones rurales s'accélère et les besoins en numéraire s'y accroissent. A l'exception des zones isolées, le premier poste de dépenses est l'achat de produits alimentaires importés que l'on trouve dans les épiceries de village; 68,7% des revenus monétaires sont ainsi consacrés à l'achat de nourriture (VSO Office, 1999). Autrefois inexistantes ou réglés en nature, les frais de scolarité et de transport ainsi que les « dépenses coutumières » (mariage, funérailles, amendes) nécessitent maintenant des ressources monétaires. Le coprah constitue encore dans certaines régions la principale source de revenu monétaire car les ressources agricoles alternatives y sont rares en raison du manque de moyens de conservation ou de transformation (faute de filières constituées, d'équipement ou d'énergie) ou de la faible fréquence et de l'irrégularité de la desserte par bateaux qui rend impossible la commercialisation de produits périssables. On notera pour finir l'absence d'organisation des producteurs face aux acheteurs de produits de base et la quasi-absence de crédit et de dispositif favorisant l'épargne en zone rurale, faute de système bancaire décentralisé (Labouisse, 2004a).

En raison de son faible potentiel de croissance dans les secteurs primaire (hors agriculture) et secondaire, le Vanuatu ne dispose donc que de peu d'options pour équilibrer sa balance commerciale caractérisée par un déficit structurel important. Le secteur touristique est encore peu développé hors de Port-Vila et il est soumis à la forte concurrence des pays voisins. Dans ces conditions, il apparaît urgent d'imaginer un mode de développement plus autocentré qui, partant des situations et des contraintes actuelles assure la sécurité alimentaire et limite l'exode rural en s'appuyant sur un mode de production agricole durable (Labouisse, 2004a).

Pour faire face à la baisse de rentabilité de la production du coprah et aux inquiétudes face à la sécurité alimentaire, **les paysans et organismes de développement du Vanuatu sont aujourd'hui à la recherche de nouveaux équilibres agraires où rentabilité économique et durabilité écologique doivent être combinées.** Les perspectives pour améliorer le revenu des populations rurales actuellement engagées dans la culture du cocotier et la production de coprah nécessitent de **repenser les systèmes de culture à base de cocotiers.**

L'installation de cultures vivrières ou d'arbres fruitiers dans les cocoteraies âgées pourrait contribuer à une meilleure valorisation des terres et à la satisfaction des besoins alimentaires des populations (Labouisse, 2004a). L'association du cocotier avec des plantes vivrières et d'autres cultures pérennes est pratiquée dans de nombreux pays et a abouti à l'émergence de systèmes agroforestiers de nature très variée en Asie (Das, 1999) et dans le Pacifique (Manu et Halavatau, 1995). Bien que les systèmes agroforestiers à base de cocotiers

gérés par des exploitations familiales assurent l'essentiel de la production mondiale de coprah², les recherches agronomiques sur le cocotier ont le plus souvent été réalisées en condition de grande culture. Nair (1979, 1983) souligne ainsi le rôle déterminant des conditions environnementales (type de sol, climat), de l'âge de la cocoteraie et de sa densité de plantation pour choisir la nature et le mode de conduite d'une association (Nair, 1983). Ces informations ne permettent cependant pas de disposer d'une représentation du fonctionnement du peuplement de cocotiers pour prévoir les possibilités agronomiques d'associer des cultures avec les cocotiers compte-tenu des conditions environnementales et des pratiques mises en œuvre.

Dans le cas du Vanuatu, les tentatives des paysans pour associer cultures vivrières et cocotiers adultes se font, le plus souvent, sous la contrainte foncière ou en raison de l'éloignement des jardins, par un « retour » vers des cocoteraies sénescentes. La réinstallation de cultures sur des plantations destinées à l'origine à la monoculture du cocotier (avec des densités à la plantation de l'ordre de 140 arbres par hectare) pourrait donc être une piste pour améliorer la rentabilité des espaces plantés en cocotiers. Toutefois, avant de soumettre cette proposition aux paysans et organismes de développement, il est indispensable de s'assurer de sa pertinence dans les conditions locales. Pour éviter les écueils des expériences passées de transfert de techniques³, les pratiques des populations rurales doivent constituer le point de départ de la réflexion des agronomes. C'est dans cette logique que s'inscrit notre travail.

Actuellement, il existe déjà au Vanuatu une grande diversité de pratiques sur les parcelles paysannes, où les cocotiers peuvent être associés avec des cacaoyers, des arbres fruitiers, des cultures vivrières (macabos, bananiers) ou bien à une végétation spontanée pâturée par des bovins (VSO, 1994; Bridier, 2000). Cette diversité de pratiques ne peut pas être appréhendée avec « une approche par espèce (voire par organe) » comme celle classiquement utilisée en agronomie pour améliorer la rentabilité des espaces cultivés. Mais on ne dispose actuellement que de peu de moyens méthodologiques pour comprendre la diversité des pratiques et proposer des voies de valorisation des cocoteraies paysannes susceptibles d'être retenues par les exploitants.

I-2) Problématique scientifique et démarche proposée

Le cocotier, probablement originaire de la région Pacifique, est aujourd'hui cultivé dans toute la frange tropicale humide (de Taffin, 1993). Culture multi-usages par excellence, l'« arbre aux cent usages » est devenu depuis le début du 20^{ème} siècle une culture industrielle dont le produit unique (le coprah) est destiné à l'exportation. Après l'essor des plantations coloniales

² Au Vanuatu, 85 % de la production nationale de coprah est assurée par les exploitations familiales (de Taffin *et al.*, 1993).

³ Parmi ces expériences, la diffusion de cocotiers améliorés en vue d'augmenter la productivité des plantations du Vanuatu n'a pas eu l'impact escompté en particulier parce que la création et la diffusion du matériel végétal ont été réalisées sans prendre en compte au préalable les objectifs des exploitants, pour qui l'augmentation de la productivité de coprah à l'hectare ne représente pas forcément l'objectif premier des exploitations familiales (Foy, 1991).

(ou grandes plantations de type industriel), l'essentiel de la production mondiale de coprah est actuellement assuré par les plantations familiales des paysans d'Asie et d'Océanie (Das, 1999). Dans ces plantations, le cocotier est souvent la culture pivot d'un système agroforestier associant de nombreuses espèces et/ou animaux (une liste des cultures les plus fréquemment associées avec le cocotier est proposée par Nair, 1983). Ces différentes espèces assurent la rentabilité des plantations avant l'entrée en production des cocotiers (Nair, 1979, 1983 ; de Taffin, 1993 ; Bonneau et Sugianto, 1999).

L'agroforesterie correspond à un type de pratiques agricoles défini comme « *la mise en valeur du sol avec une association simultanée ou séquentielle d'arbres et de cultures ou d'animaux, afin d'obtenir des produits et des services utiles à l'homme* » (Torquebiau, 2000). Les performances de ce type de pratiques sont déterminées par les interactions dans le temps et l'espace entre les différentes composantes du système. Ces interactions sont principalement des compétitions interspécifiques (entre les différentes espèces) pour l'utilisation des ressources du milieu. Le principe de l'agroforesterie est de réaliser des associations d'arbres, de culture ou d'animaux qui permettent une utilisation optimale des ressources du milieu tout en limitant les compétitions entre les espèces pour ces mêmes ressources. Pour ce faire, les composantes du système exploitent idéalement différentes niches écologiques. Sur les parcelles de cocotiers en monoculture, seulement 25 % des ressources (lumière et espace) seraient utilisées, l'association de culture constituant alors un moyen d'améliorer la rentabilité de ces parcelles (en fournissant des productions et services supplémentaires) tout en permettant un meilleur usage des ressources du milieu (Nair, 1979, 1983).

Avant de proposer aux paysans d'intensifier leurs cocoteraies en y implantant de nouvelles cultures, il est nécessaire de s'assurer de la pertinence de cette proposition dans les conditions paysannes locales. Les expériences du passé ont en effet montré que pour que les évolutions proposées soient retenues, il faut partir de l'analyse des situations existantes et proposer des évolutions en adéquation avec les objectifs des exploitants (Sheer, 1991 ; Jouve 1992 ; Capillon, 1993).

Le **concept de système de culture** est défini comme « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique, chaque système de culture se caractérise par la nature des cultures et leur ordre de succession, et par les itinéraires techniques appliqués à chacune de ces cultures* » (Sebillotte, 1974). Ce concept a été largement utilisé, mais principalement sous climat tempéré pour étudier des successions de cultures annuelles en situation de grande culture (Doré *et al.*, 1997 ; Meynard *et al.*, 2001 ; Papy 2001). Plus récemment, ce concept a été utilisé pour étudier des cultures pérennes en peuplement monospécifique en zone méditerranéenne (Nesme *et al.*, 2003) et tropicales - avec notamment des travaux sur l'hévéa (Penot, 2001) et sur la banane (Tixier, 2004) -. Notre hypothèse est que ce concept est également pertinent pour l'étude de situations agricoles complexes, où des cultures pérennes et/ou annuelles sont cultivées en association comme c'est le cas sur les parcelles paysannes de cocotiers.

L'objectif de la thèse est de mettre au point une démarche permettant (i) de caractériser les systèmes de culture agroforestiers et (ii) de réaliser une évaluation agroécologique de ces systèmes afin de préparer ou orienter leur devenir. Nous appliquerons cette démarche aux systèmes à base de cocotiers au Vanuatu.

Aspects méthodologiques

Concevoir de nouveaux systèmes nécessite de comprendre comment les états du milieu ont été progressivement modifiés au cours du développement des cocotiers. L'évolution des états du milieu au cours du temps est actuellement peu connue⁴, et en particulier on ne connaît pas les conséquences des pratiques paysannes sur l'évolution des états du milieu et du peuplement de cocotiers. Pour comprendre les dynamiques des états du milieu sur les parcelles paysannes de cocotiers, on est confronté à des difficultés méthodologiques spécifiques, résultant des caractéristiques de ces parcelles :

- Les **dynamiques temporelles** impliquées, du fait de la longueur du cycle biologique des cocotiers (de l'ordre d'une centaine d'années), se caractérisent par des pas de temps à **long terme** et sont donc difficiles à appréhender.
- Par ailleurs, diverses **associations de nature différentes** sont mises en œuvre sur les parcelles paysannes, **constituant un peuplement plurispécifique et multifonctionnel, difficile à caractériser et à évaluer** (figure 1).

La durée du cycle biologique des cocotiers limitant les possibilités de suivi des parcelles au cours du temps (approche diachronique), on se propose d'adopter **une approche synchronique pour étudier les systèmes de culture paysans**. L'approche synchronique utilise la diversité des âges de cocoteraies existant sur les parcelles de la zone d'étude pour reconstituer l'enchaînement des stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture (chronoséquence). Cette approche basée sur la comparaison entre-elles d'un ensemble de parcelles ne peut être envisagée qu'à condition d'avoir vérifié qu'il existe une constance des pratiques culturelles sur une période correspondant à la durée du cycle de culture des cocotiers et que les différentes parcelles comparées entre-elles sont situées dans le même milieu agroécologique.

La première partie de la thèse a pour objectif de caractériser les systèmes de culture paysans, en utilisant la diversité des situations existantes sur les parcelles de la zone d'étude.

Pour appréhender la grande diversité de situations sur les parcelles paysannes de cocotiers, il apparaît nécessaire de se référer à un cadre d'analyse. Pour décrire les différentes situations existant sur ces parcelles, nous avons choisi de nous référer à deux variables :

- (1) le stade de développement des cocotiers qui permet de se placer dans une perspective temporelle. Différents stades de développement seront définis compte-tenu de la biologie des cocotiers dans les conditions locales.
- (2) le type de structure de la végétation sur la parcelle (qui reflète les pratiques de l'exploitant au niveau de la parcelle) et qui permettra, en analysant les principaux phénomènes de compétitions susceptibles de limiter le développement et/ou la production du peuplement, de formuler des hypothèses relatives au fonctionnement agroécologique de ces systèmes.

⁴ Et bien que l'essentiel de la production soit assuré par des exploitations de type familial (Das, 1999), la quasi-exclusivité des références techniques concernant la culture du cocotier ont été établies en vue d'optimiser la productivité en coprah de « grandes plantations » de cocotiers.



Figure 1: La diversité d'association sur les parcelles paysannes de cocotiers

Dans le cadre de cette étude, une parcelle est définie comme une surface appartenant au même exploitant sur laquelle on retrouve un même type de structure de la végétation et un même stade de développement des cocotiers. A partir de cette définition, on peut être amené à distinguer plusieurs parcelles à l'intérieur d'un même champ (au sens de la parcelle cadastrale d'un exploitant).

Dans ce cadre, le système de culture est abordé au travers de son résultat en terme de trajectoire, correspondant à une succession de types de structure de la végétation au cours du temps, en relation avec le développement des cocotiers. Caractériser les systèmes de culture paysans consiste, dans cette étude, à mettre en évidence l'évolution de la structure de la végétation au cours du temps et ses déterminants au niveau de la parcelle.

La première partie de la thèse consiste donc à repérer, décrire et ordonner les différentes situations existant sur les parcelles paysannes de la zone d'étude.

Une première étape pour cela est de comprendre, à l'échelle de la zone d'étude, l'organisation géographique actuelle de la cocoteraie. Cette organisation est le résultat d'un processus historique dont la reconstitution permet de comprendre les possibilités d'évolution de la situation actuelle. Par ailleurs, la mise en œuvre d'une approche synchronique pour étudier les systèmes de culture impose :

- une analyse de l'évolution historique des pratiques sur les parcelles paysannes afin de vérifier la constance de ces pratiques sur une période correspondant au cycle de culture des cocotiers,
- la reconstitution de l'organisation géographique actuelle de la cocoteraie dans la zone d'étude afin de vérifier la présence, dans le même milieu agroécologique, de parcelles représentant les différents stades de développement des cocotiers.

Le recensement exhaustif des différentes situations existantes dans la zone d'étude étant exclu, on se propose de constituer un échantillon représentant la plus large gamme possible de situations sur les parcelles paysannes. Pour cela, une stratégie d'échantillonnage est mise en place, reposant sur la stratification préalable des facteurs socio-économiques et agroécologiques susceptibles de participer à la diversité de situations sur les parcelles de la zone d'étude. La structure du peuplement et l'histoire culturelle de chacune des parcelles de l'échantillon sont décrites. Puis ces parcelles sont ordonnées selon (i) le type de structure de la végétation actuellement observable sur le terrain et selon (ii) le stade de développement des cocotiers sur la parcelle. Cette double classification des parcelles permet de les positionner dans une matrice des situations culturelles (où l'axe X représente le temps - exprimé en terme de stade de développement des cocotiers - et l'axe Y représente le type de structure de la végétation sur la parcelle). Les histoires culturelles de ces parcelles (exprimées en terme de succession de types de structure de la végétation au cours du développement des cocotiers) sont regroupées et positionnées dans la matrice. Elles permettent alors de mettre en relation les parcelles entre elles, d'identifier des trajectoires qui correspondent aux principaux systèmes de culture paysans de la zone d'étude. L'évolution de la structure de la végétation au cours du développement des cocotiers est ainsi mise en évidence pour chacune des trajectoires identifiées.

Une fois les systèmes de culture identifiés et caractérisés, un réseau de parcelles est retenu pour représenter les chronoséquences des principaux systèmes de culture paysans. Ce réseau

de parcelles servira de base pour l'évaluation agroécologique de ces systèmes.

La seconde partie de la thèse a pour objectif l'évaluation agroécologique des systèmes de culture paysans à base de cocotiers. Celle-ci repose sur l'évaluation conjointe des performances agronomiques du système et des états du milieu (Doré *et al.*, 1997 ; Meynard *et al.*, 2001). Evaluer les systèmes de culture, c'est donc déterminer les performances agronomiques (caractériser les usages et quantifier les productions) de ces systèmes, mais aussi comprendre l'évolution des états du milieu. Il s'agit de pouvoir *in fine* estimer la durabilité agroécologique du système et discuter des voies d'évolution possibles.

Sur les parcelles paysannes, le cocotier est associé à de nombreuses espèces de natures différentes (arbres fruitiers, arbres forestiers, racines et tubercules semi-pérennes, etc...) fournissant différentes productions (fruits, feuilles, racines, bois, etc.), et remplissant différentes fonctions. Evaluer la production des parcelles paysannes de cocotiers revient donc à évaluer la production d'un peuplement plurispécifique et multi-fonctionnel. Ceci implique (i) de pouvoir définir clairement ce que produit chaque espèce et (ii) de pouvoir le quantifier.

Définir clairement le(s) produit(s) de chaque espèce est une première difficulté, en particulier lorsque ces espèces sont peu connues et qu'elles remplissent des fonctions très variées (économique, écologique et/ou sociale) comme c'est fréquemment le cas pour les espèces utilisées dans les systèmes agroforestiers (Nair, 1993, Huxley, 1999, Clarke et Thaman, 1993). Pour mettre en évidence les fonctions et les usages des différentes espèces présentes sur les parcelles du réseau, les références bibliographiques disponibles sur ces différentes espèces ainsi que les savoirs locaux ont été mobilisés. La comparaison de ces parcelles entre-elles permet ensuite d'estimer l'évolution des usages de ces groupes d'espèces au cours du temps dans les systèmes de culture paysans.

La quantification des produits de chaque espèce pose des problèmes spécifiques. En agronomie, les productions sont classiquement quantifiées en terme de rendement (quantité produite par unité de temps et de surface). Or ce rendement, facilement estimable pour des cultures monospécifiques à cycle court, est en revanche beaucoup plus délicat à estimer quand le produit de la culture est récolté de manière irrégulière ou seulement après une période de plusieurs années comme c'est le cas pour beaucoup des espèces cultivées sur les parcelles paysannes de cocotiers. Par ailleurs, la diversité des produits susceptibles d'être récoltés sur ces parcelles implique une gamme de production qui recouvre des pas de temps très variés. Ces pas de temps vont de la saison pour la production de tubercules ou fruits, à la centaine d'années pour la production de bois. Les productions peuvent être régulières (par exemple pour le cocotier où des noix arrivent à maturité chaque mois et ce pendant toute la période de production) ou irrégulière (par exemple pour les bananiers). Pour combiner ces différentes dynamiques de productions et les produits en résultant en une quantité globale produite par unité de temps et de surface, il faut donc pouvoir les quantifier à l'aide d'une unité de calcul commune. Les unités de calcul les plus souvent utilisées pour exprimer des productions agricoles sont des valeurs monétaires ou des valeurs de biomasse (Huxley, 1999). **Compte-tenu de l'ampleur du travail à réaliser et du temps imparti pour la thèse, on a fait le choix de se concentrer sur les « fonctions de production » *a priori* principale fonction des parcelles paysannes de cocotiers. On se concentrera en particulier sur l'évaluation de la**

production des espèces ou groupes d'espèces pour lesquelles on disposait de références de production et d'outils de diagnostic mobilisables sur le terrain. La production des parcelles paysannes est alors estimée comme étant l'ensemble de la production de chacune de ses composantes productives. La comparaison des parcelles entre-elles permettra ensuite d'estimer et de comparer la productivité des principaux systèmes de culture ainsi que leur évolution au cours du temps.

Parallèlement à l'estimation des performances des parcelles paysannes, les états du milieu, susceptibles de limiter les performances et/ou l'association de cultures sont caractérisés sur les parcelles du réseau. On reconstitue ainsi la dynamique des états du milieu au cours du temps, mettant ainsi en évidence l'effet des pratiques paysannes sur cette évolution. L'étude exhaustive des états du milieu n'étant pas envisageable dans le cadre de ce travail de thèse, on se concentrera sur les états du milieu jugés *a priori* déterminants du fonctionnement agroécologique (performances, durabilité et possibilités d'intensification) des systèmes de culture considérés.

Les systèmes de culture agroforestiers se caractérisent par de multiples interactions et compétitions pour le partage des ressources entre les parties aériennes et souterraines des espèces associées. Les compétitions souterraines qui s'exercent dans les systèmes agroforestiers sont souvent plus importantes que celles s'exerçant en surface (Rao *et al.*, 1998 ; Huxley, 1999). Elles dépendent fortement des niveaux de fertilité du milieu et du degré d'encombrement du sol par les systèmes racinaires des plantes en présence.

Au Vanuatu, le niveau de fertilité des sols est particulièrement élevé (Quantin, 1982 ; Bozon *et al.*, 1991) mais on ne connaît pas les conséquences de la culture de cocotiers sur l'évolution du niveau de fertilité des sols, qui devra être évalué pour estimer les performances et la durabilité de ces systèmes de culture. La teneur en matières organiques dans le sol constitue un indicateur du niveau de fertilité physico-chimique et de la durabilité agroécologique classiquement utilisé pour étudier les systèmes agroforestiers (Torquebiau, 1992 ; Gajaseneni et Gajaseneni, 1999 ; Kumar et Nair, 2004).

Dans les plantations industrielles monospécifiques, le système racinaire des cocotiers se développe rapidement et les racines primaires peuvent atteindre des longueurs de 10 m une dizaine d'années après la plantation. Ces racines sont essentiellement localisées dans les horizons de surface, avec 67% des racines primaires situées dans les 60 premiers cm de sol (Colas, 1997). En situation paysanne, où diverses espèces sont associées aux cocotiers, le développement des racines de cocotiers dans les horizons de surface limiterait le volume de sol (et les ressources associées) utilisable par les autres cultures. En zone tropicale humide, lorsque la pluviométrie favorise une croissance rapide, les compétitions entre les plantes s'exercent essentiellement pour la capture de l'énergie lumineuse (Lawson et Kang, 1990 ; Ong *et al.*, 1991 ; Ong et Black, 1994). Le bilan radiatif (*i.e* la capture de l'énergie lumineuse) est donc un élément clé du fonctionnement de ces systèmes, devant être caractérisé pour évaluer leurs performances, leur durabilité agroécologique ainsi que leur voie d'évolution.

Pour évaluer la durabilité agroécologique des systèmes de culture paysans, compte-tenu du temps et des moyens mobilisables dans le cadre de cette étude, les facteurs suivants ont donc été privilégiés :

- (i) le rayonnement transmis sous le couvert pour estimer les compétitions aériennes entre les cocotiers et les espèces associées pour l'utilisation de la ressource lumineuse

- (ii) l'encombrement racinaire pour estimer les compétitions souterraines entre les cocotiers et les espèces associées pour l'utilisation de l'espace et des ressources hydriques et minérales.
- (iii) la teneur en matière organique du sol pour estimer le niveau de fertilité et la durabilité agroécologique du système.

Des modèles architecturaux permettant d'estimer le niveau de compétition entre les parties aériennes ou entre les parties racinaires d'un peuplement monospécifique sont mobilisés pour étudier l'évolution et la répartition spatiale de ces compétitions au cours du développement des cocotiers. Ces simulations seront un outil pour estimer, à partir d'une configuration réelle (observable sur le terrain) ou virtuelle, les possibilités d'associer des cultures à un peuplement de cocotiers à différents stades de développement.

La mise en relation de l'évolution des états du milieu et des performances agronomiques au cours du développement des cocotiers pour les différents systèmes de culture caractérisés permettra, dans une dernière partie de la thèse, d'estimer leur durabilité agroécologique, en terme d'*efficience*, de *stabilité* et de *résilience* au niveau de la parcelle. Au terme de la réalisation de cette démarche, des propositions agronomiques (techniques) seront formulées pour préparer l'évolution de ces systèmes et en particulier le devenir des parcelles où les cocotiers sont en phase de sénescence. L'intérêt, les limites et les perspectives de la démarche proposée seront analysés dans une dernière partie de la thèse. Les différentes étapes du travail présenté sont récapitulées dans l'encadré ci-contre.

Encadré : Démarche proposée pour caractériser et évaluer les systèmes de culture paysans à base de cocotiers.

La démarche proposée se compose de trois grandes phases :

- (1) la caractérisation des systèmes de culture, qui correspond à la mise en évidence de l'évolution de la structure de la végétation au cours du développement des cocotiers,
- (2) l'évaluation, par une approche synchronique, des usages, des performances et des états du milieu sur les parcelles paysannes au cours du développement des cocotiers,
- (3) l'estimation (à l'échelle de la parcelle) de la durabilité agroécologique des systèmes étudiés et de leurs voies possibles d'évolution dans le contexte local actuel.

(1) caractérisation des systèmes de culture paysans

Cinq étapes successives constituent la phase de caractérisation des systèmes de culture :

- (1) mise en évidence de l'organisation géographique de la cocoteraie et de ses déterminants à l'échelle de la zone d'étude,
- (2) construction d'un échantillon de parcelles paysannes représentant la diversité de situations existant au sein de la zone d'étude,
- (3) description de l'histoire culturelle et de la structure de la végétation sur chacune des parcelles de l'échantillon,
- (4) classification de ces parcelles selon le type de structure de la végétation et selon le stade de développement des cocotiers,
- (5) mise en relation de ces parcelles compte-tenu de leur histoire culturelle, révélant les dynamiques temporelles des systèmes de culture paysans

Au terme de cette étape, on peut construire un sous-réseau de parcelles qui comprend les différents stades de développement des cocotiers pour chaque système de culture caractérisé.

(2) évaluation des systèmes de culture

L'évaluation agroécologique des systèmes de culture repose sur l'évaluation conjointe (a) des performances et (b) des états du milieu sur les parcelles paysannes du réseau.

(a) Après avoir identifié les usages des espèces présentes sur les parcelles, on cherche à en quantifier la production afin d'estimer la production des parcelles comme étant l'ensemble de la production des différentes catégories d'espèces (cocotier, jardins vivriers, pâturage, etc..),

(b) les états du milieu jugés *a priori* déterminants du fonctionnement agroécologique des systèmes étudiés sont caractérisés sur les parcelles du réseau. Ces facteurs sont : (i) le rayonnement transmis sous le couvert, (ii) l'encombrement racinaire et (iii) la teneur en matière organique du sol. Des modèles architecturaux sont mobilisés pour estimer l'évolution au cours du temps et la répartition spatiale des compétitions entre les parties aériennes ou racinaires au sein d'un peuplement monospécifique de cocotiers. Ces simulations constituent un outil pour tester les possibilités théoriques d'associer des cultures aux cocotiers, compte-tenu de leur stade de développement et du dispositif de plantation.

(3) estimation de la durabilité agroécologique et du devenir des systèmes de culture

La durabilité agroécologique est estimée au niveau de la parcelle par la mise en relation de l'évolution des états du milieu et des performances agronomiques au cours du développement des cocotiers. Cette estimation fournit des clés de compréhension du fonctionnement agroécologique de ces systèmes de culture qui permettront de dégager des possibilités agronomiques d'évolution de ces systèmes.

I-3) Présentation de la zone d'étude

L'île de Malo, située au Sud-est de l'île de Santo, a été retenue comme zone d'étude (figure 2). Plusieurs raisons ont conduit à ce choix :

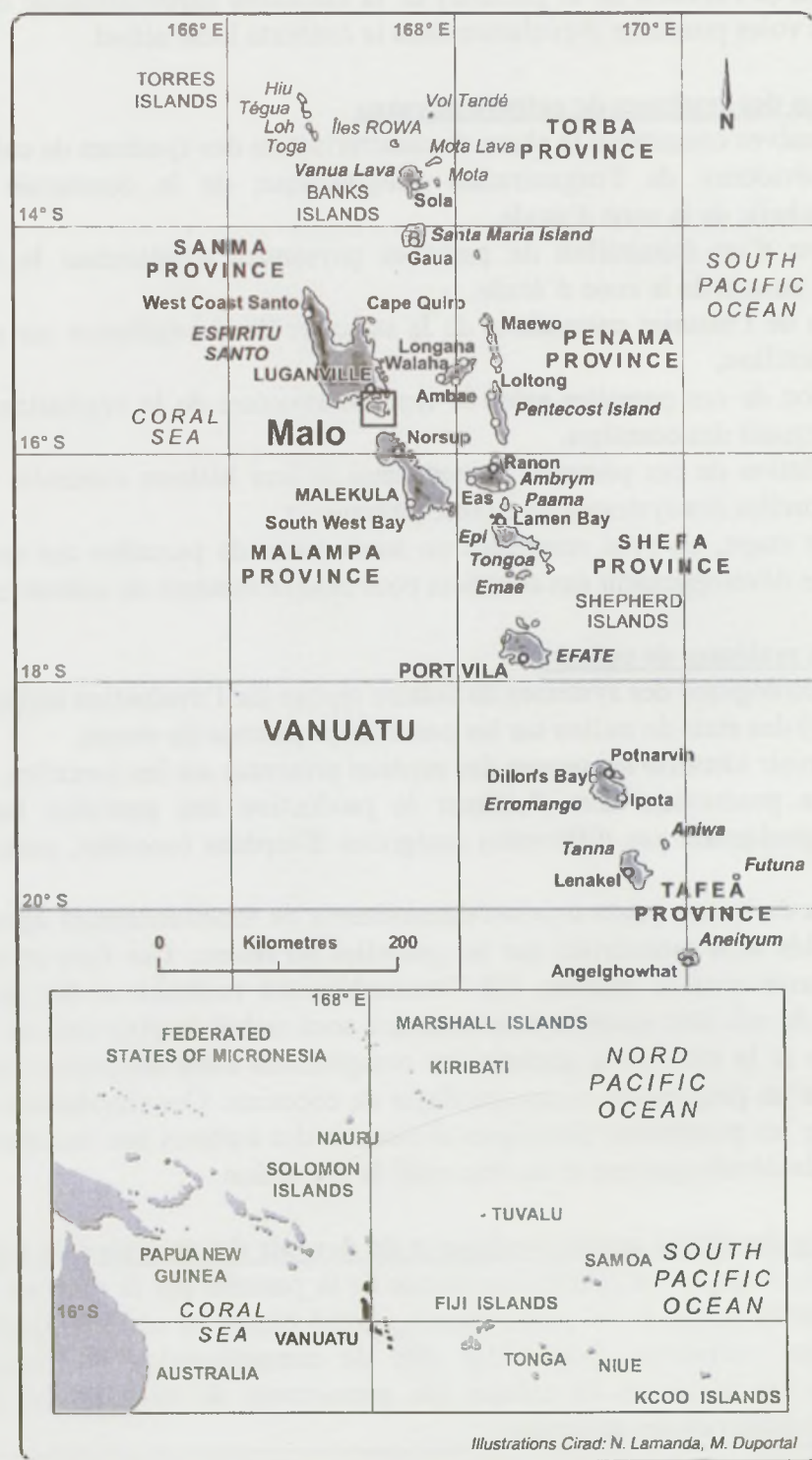


Figure 2: Carte de Situation

- (1) L'île de Malo (15°40'S; 167°10'E) est un petit territoire de 180 km² qui présente un contexte caractéristique des îles du Nord du Vanuatu, principales productrices de coprah de l'archipel. Sa spécificité est d'être située à proximité des lieux d'achat du coprah, ce qui favorise la commercialisation de la production. L'île de Malo reste ainsi actuellement l'une des principales zones productrices, bien que la rentabilité de la production de coprah ait tendance à baisser.
- (2) Sur l'île de Malo, les plantations de cocotiers ont été installées dès le début du XX^{ème} siècle et cette dynamique de plantation se poursuit encore actuellement (VSO, 1994). Il semble donc possible de trouver des parcelles représentant les différents stades du cycle de développement des cocotiers et donc de mettre en œuvre une approche synchronique pour étudier les systèmes de culture paysans.
- (3) L'île de Malo est facilement accessible de Santo où est localisée la station de recherche (VARTC -Vanuatu Agricultural Research and Training Center- ex base CIRAD) qui nous accueille, et l'on peut être mis en relation avec les exploitants par l'intermédiaire des services de l'agriculture et du représentant local du Centre Culturel.
- (4) Les modes de production agricole et leur récente évolution y ont été finement étudiés (Allen, 2001). Cette étude constitue une référence pour appréhender l'évolution des systèmes de culture vivriers, leurs relations avec les cultures de rente et les objectifs de production des exploitants.
- (5) Enfin, on retrouve sur Malo les mêmes conditions agroécologiques que celles prévalant à l'est de l'île de Santo où est située la station de recherche : Vanuatu Agricultural Research and Training Center (VARTC) sur laquelle la majorité des références sur la culture des cocotiers au Vanuatu a été établie. Les conditions agroécologiques étant comparables, on pourra mobiliser les références concernant la culture du cocotier au Vanuatu pour étudier les systèmes de culture paysans.

Les conditions agroécologiques sur l'île de Malo

Les données agroécologiques présentées ci-dessous ont été caractérisées sur la station de recherche du VARTC (ex-station IRHO de Saraoutou) située sur la côte Est de Santo (15°32'S – 167° 08'E, Quantin, 1982). Elles sont considérées, d'après la carte des potentialités agronomiques réalisée par Quantin (1982), comme comparables à celles de l'île de Malo.

Un climat équatorial typique, chaud et humide, tempéré par les embruns marins et les alizés caractérise la zone est de Santo (zone au vent) ainsi que l'île de Malo. La température moyenne annuelle est de 24,7°C avec une amplitude thermique annuelle d'environ 7,30°C (figure 3). Les précipitations sont abondantes et régulièrement réparties, avec une saison moins pluvieuse de juin à août qui correspond à l'hiver austral, ici peu marqué (figure 3). La pluviométrie moyenne mensuelle est de 238 mm, soit environ 2870 mm par an (calculée à partir des données mensuelles relevées entre 1986 et 2000). Il existe toutefois une importante variabilité interannuelle de la pluviométrie ; entre 2001 et 2004 la pluviométrie a été en

moyenne de 2700 mm par an, atteignant 3216 mm en 2003.

L'humidité relative est élevée, à raison d'une moyenne de 88% variant entre 85% pendant la saison la moins pluvieuse et un maximum de 90 % au mois de mars. L'ensoleillement annuel moyen est de 2081 h (Quantin, 1982).

Ces conditions climatiques conviennent particulièrement à la culture du cocotier. En effet, une température moyenne de 27°C, une pluviométrie régulièrement répartie de 1800 mm.an⁻¹, une hygrométrie annuelle d'environ 85% et une moyenne d'ensoleillement annuel de 2100 h sont considérées comme les conditions optimales pour la culture des cocotiers (de Taffin, 1998).

Les vents sont fréquents, avec une force moyenne de 3 à 4 m.s⁻¹, et une orientation dominante sud-est. Le passage de cyclone est un événement fréquent (Quantin, 1982) pouvant entraîner d'importants dégâts sur les parcelles de cocotiers. Les parcelles du littoral sont plus particulièrement sensibles aux cyclones du fait de la faible profondeur des sols qui ne permettent pas un solide ancrage des cocotiers (Marty *et al.*, 1986).

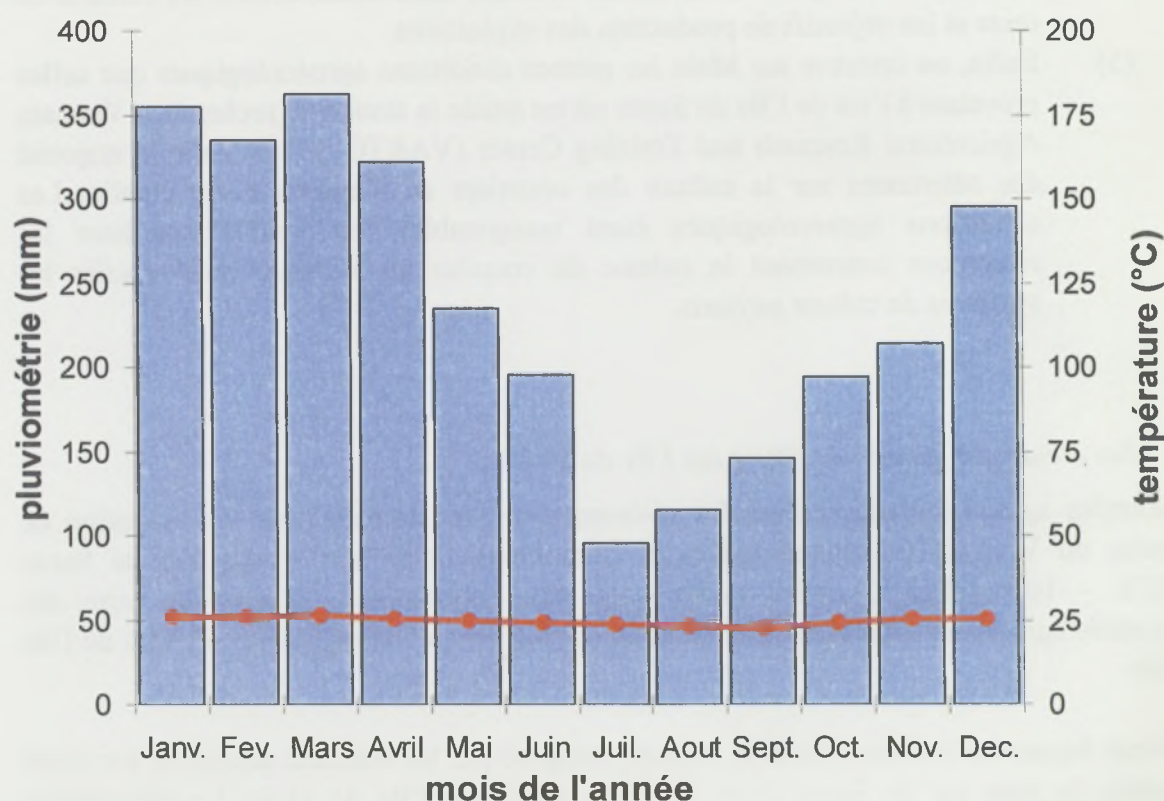


Figure 3: Diagramme ombrothermique réalisé à partir des données climatiques relevées sur la station de recherche VARTC (ex station de Saraoutou, IRHO)

Deux principaux types de sols correspondant à deux zones distinctes sont retrouvés sur l'île de Malo et la zone est de l'île de Santo ; (a) les sols de la frange littorale et (b) les sols de plateau.

Ces deux types de sols ont été finement caractérisés au cours de l'étude des sols de l'archipel par Quantin (1982) puis plus particulièrement pour les sols des cocoteraies de la station de Saraoutou par Bozon *et al.* (1991). Leurs caractéristiques sont rapidement présentées ci-dessous.

a) le sol de la frange littorale

C'est un sol calcimagnésique carbonaté (rendzines modales), essentiellement constitué d'un horizon humifère de 10 à 30 cm reposant sans transition sur un matériau calcaire quasi inaltéré. Très humifère (entre 5 et 15 % de matières organiques), ce type de sol est calcaire et le plus souvent dépourvu d'argile. En raison de leur faible profondeur, de leur pH alcalin et de leur risque de déficience en potassium, phosphore, bore et molybdène, ces rendzines modales sont considérées (d'après la classification des potentialités agronomiques des sols du Vanuatu de Quantin, 1982), comme peu favorables aux cultures. La frange littorale correspond à la zone de culture du cocotier par excellence, le sol y étant bien drainé et le sodium apporté par les embruns compensant l'éventuelle carence potassique (Quantin, 1982)

b) le sol du plateau corallien, plus à l'intérieur des terres

Des sols ferralitiques bruns rouge, faiblement désaturés sont retrouvés sur la majeure partie des reliefs modérés exposés « au vent » et soumis à un climat humide. Ces sols reposent sur du calcaire dur, et sont rajeunis en surface par des minéraux volcaniques frais (Quantin, 1982).

La texture argilo-limoneuse de ce type de sol est régulière sur tout le profil avec une majorité d'argile 1:1. Leur profondeur est variable : elle peut atteindre 4m sur le plateau mais être réduite à 10 cm sur les versants érodés des falaises. L'horizon humifère est épais (de 15 à 20 cm) et riche contenant entre 9 et 15% de matières organiques (Quantin, 1982). Ces sols ferralitiques sont saturés ou faiblement désaturés en cations (présentant donc une capacité d'échange cationique importante, de l'ordre de 15 à 40 mé.100g⁻¹), peu acides (pH > 5,5). Ils présentent parfois des risques de déficience en phosphore en raison de sa faible solubilité dans ces sols, ainsi que des risques d'asphyxie temporaire des racines des plantes annuelles vers 20-30 cm en raison de la forte rétention de l'eau dans ces sols. Ils sont toutefois considérés comme très fertiles, avec des potentialités agronomiques optimales dans la classification de Quantin (1982) et conviennent particulièrement aux cultures vivrières. La culture des cocotiers s'y effectue également dans d'excellentes conditions (Quantin, 1982).

Chapitre II : Caractérisation des systèmes de culture à base de cocotiers

II-1) Objectifs

Les systèmes agroforestiers, où des espèces ligneuses et herbacées sont cultivées en interaction dans le temps et l'espace, sont en général décrits au niveau de l'exploitation agricole (Sanchez, 1995). Ces études incluent souvent un relevé des espèces cultivées et de leurs usages, mais comme le soulignent Nair (2001) et Kumar et Nair (2004) elles restent insuffisantes et inadaptées pour comprendre le fonctionnement agroécologique de ces systèmes (*i.e* les interactions entre les composantes) et leur évolution. La notion de structure du peuplement proposée par Schütz (1997) pour les peuplements forestiers mélangés (*i.e* constitués de plusieurs espèces) permet d'appréhender les interactions entre les composantes du peuplement. Elle se révèle donc particulièrement intéressante pour étudier les systèmes agroforestiers.

La structure du peuplement est une notion multicritère, définie comme « *une combinaison de plusieurs éléments de structure tels que : le type de distribution des arbres, la densité des peuplements, leur différenciation verticale, la diversité d'espèces et les formes de mélange ou d'agrégation entre individus. Les forêts seront d'autant plus hétérogènes que la résultante de la combinaison de ces différents critères structuraux sera grande* » (Schütz, 1997). A partir de cette définition, on peut distinguer plusieurs modèles théoriques de structure du peuplement correspondant chacun à un type de modèle architectural. Ces différents modèles permettent de comprendre le fonctionnement du peuplement *i.e* les principaux phénomènes de compétitions susceptibles de limiter le développement et/ou la production du peuplement dans chacun des cas. On distingue deux principaux types théoriques de mélanges ;

- (i) le mélange vertical, où toutes les statures des arbres sont intimement mêlées mais où les couronnes ne se touchent pas directement et se trouvent superposées en raison du mode de distribution des arbres et de l'utilisation de l'espace (par exemple : la forêt jardinée ou la futaie parfaitement irrégulière à régénération spontanée). Le niveau de perception de la lumière dans le peuplement détermine la croissance et représente donc le facteur principal de régulation de ce système.
- (ii) le mélange horizontal, où les essences associées se trouvent au même niveau d'interférence. Dans ce cas, les arbres luttent côte à côte au même niveau ou presque de perception de la lumière. Ce sont donc les problèmes de compétitions latérales (au niveau des houppiers et des systèmes racinaires) qui apparaissent comme déterminant pour la croissance du peuplement.

A ces deux types de mélange, il faut ajouter un cas intermédiaire, (iii) celui des mélanges horizontaux à deux niveaux, subordonnés l'un à l'autre (Schütz, 1997).

L'analyse de la structure de la végétation de nos situations à partir de ces propositions théoriques permet de poser des hypothèses sur les interactions et en particulier sur les relations de compétition existant entre les composantes du peuplement. Ce type d'analyse présente un grand intérêt pour appréhender le fonctionnement agroécologique de peuplements plurispécifiques tels que ceux rencontrés dans les systèmes agroforestiers et en particulier sur les parcelles paysannes de cocotiers.

Les liens entre la structure de la végétation et le fonctionnement biophysique (relation de compétition entre espèces) des systèmes agroforestiers qu'ils permettent d'appréhender, sont souvent mis en avant (Michon *et al.*, 1983 ; Fernandes et Nair, 1986 ; Torquebiau, 1992 ; Kumar et Nair, 2004). Cette notion de structure de la végétation a en particulier été utilisée pour classer les pratiques agroforestières à partir de simples observations à l'échelle de la parcelle (Torquebiau, 2000). D'autres auteurs l'ont utilisée pour répondre à des questions plus spécifiques, par exemple pour comprendre la relation entre la richesse du peuplement et la structure de jardins agroforestiers situés dans différentes zones géographiques (Millat-E-Mustafa *et al.*, 1996), pour caractériser les niveaux de biodiversité, la production de biomasse et le recyclage des nutriments dans des systèmes agroforestiers (Gajaseni et Gajaseni, 1999), ou pour classer des jardins agroforestiers et examiner les relations entre leurs caractéristiques socio-économiques et agroécologiques (Méndez *et al.*, 2001).

Mais la plupart de ces études raisonnent sur des situations « statiques » (avec des pas de temps courts, de l'ordre de 2-3 années) et ne permettent donc pas d'appréhender les dynamiques temporelles à long terme caractéristiques des systèmes de culture à base de pérenne(s). Or la prise en compte de ces dynamiques est indispensable pour comprendre comment on a abouti aux situations actuellement observables et comment ces situations sont susceptibles d'évoluer. Parmi les nombreuses études de cas publiées sur les systèmes agroforestiers, rares sont celles qui s'intéressent aux dynamiques temporelles de ces systèmes. On n'a ainsi trouvé qu'une référence qui analyse l'évolution de la structure de la végétation dans des systèmes agroforestiers afin de démontrer leur intérêt comme zones tampons en périphérie des réserves forestières de Sumatra et du Sri Lanka (Sansonnens, 1996).

Pour appréhender, par une approche synchronique, les dynamiques de la structure de la végétation dans les systèmes agroforestiers où il existe une grande diversité, il est nécessaire d'étudier un grand nombre de situations. La méthode classiquement utilisée pour décrire la structure de la végétation est la méthode du profil architectural initialement développée pour décrire la structure des forêts tropicales (Oldeman, 1974) puis adaptée pour l'étude des systèmes agroforestiers (Michon *et al.*, 1983). Le profil architectural est une approche graphique où une tranche de l'agroforêt est représentée graphiquement dans ses trois dimensions au moyen de deux diagrammes : un profil de la végétation et un plan de projection au sol des couronnes (Mary, 1995). Le profil architectural rend compte du système de façon global (pas seulement comme la somme de ces composantes) et permet ainsi un diagnostic écologique (Mary, 1995). Le profil fournit des représentations fidèles de la structure de la végétation, tant qualitativement que quantitativement, mais il est toutefois très exigeant en temps et travail (2 à 8 jours par profil : Mary, 1995 ; Sansonnens, 1996 ; Limier, 1988). La méthode du profil architectural semble donc difficile à mettre en œuvre pour étudier un nombre très important de situations, nécessaire pour décrire la diversité existant sur les parcelles paysannes de cocotiers.

Pour décrire la structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers et son évolution dans les différents systèmes de culture on se propose ici de mobiliser des outils à l'interface de différentes disciplines (histoire, sociologie, agronomie, écologie) et concernant différentes échelles spatiales (du territoire à l'intra parcellaire) et temporelles (de la reconstruction du processus historique d'implantation des cocoteraies à la gestion des parcelles au cours du développement des cocotiers).

II-2) Méthode de caractérisation des systèmes de culture

La méthode de caractérisation des systèmes de culture à base de cocotiers se compose de cinq phases successives :

- (1) mise en évidence de l'organisation géographique de la cocoteraie et de ses déterminants à l'échelle de la zone d'étude,
- (2) construction d'un échantillon de parcelles représentant la diversité de situations existant sur les parcelles de cocotiers de la zone d'étude,
- (3) description de l'histoire culturelle et caractérisation de la structure de la végétation sur les parcelles de l'échantillon
- (4) classification et agencement de ces parcelles selon la structure de la végétation et le stade de développement des cocotiers,
- (5) mise en relation de ces parcelles afin d'identifier les systèmes de culture et leurs dynamiques temporelles.

II-2-1) Mise en évidence de l'organisation géographique de la cocoteraie et de ses déterminants

La méthode du zonage à dire d'acteur (Caron, 1997) a été utilisée pour mettre en évidence le processus historique d'implantation de la cocoteraie qui permet de comprendre son organisation spatiale actuelle. Ce zonage permet également de stratifier la zone d'étude selon les facteurs socio-économiques et agroécologiques susceptibles *a priori* d'être à l'origine de la diversité de situations sur les parcelles paysannes. Par « situation », on entend ici l'état d'une parcelle à un moment donné (celui de l'observation) en définissant à la fois la structure de la végétation (en termes d'associations végétales, mais aussi de variété, de densité et de dispositif de plantation des cocotiers) et le stade de développement des cocotiers.

Les grandes phases de l'histoire agraire de l'île de Malo et plus particulièrement le processus d'implantation des cocoteraies ont été mises en avant à partir du regroupement, de l'analyse et de la compilation de l'ensemble des informations bibliographiques et cartographiques relatives au milieu physique et humain disponibles auprès des structures locales (Allen, 2000; Allen, 2001; Weightman, 1989; Quantin, 1982). Le savoir de personnes-ressources choisies pour leur connaissance de l'histoire de l'île (chef local, exploitants et vulgarisateur) a ensuite été mobilisé au cours d'entretiens guidés avec support cartographique (carte au 1/50 000 de Malo) afin de corroborer et spatialiser les étapes du développement des cocoteraies sur Malo. A partir du regroupement des informations relatives aux caractéristiques physiques et humaines du milieu (concentration actuelle de population, développement des infrastructures, etc.) différents contextes de production ont été identifiés et localisés au sein de l'île. La caractérisation de ces zones, qui présentent des facteurs agroécologiques et socio-économiques pouvant être considérés comme homogènes, a ensuite été validée par des observations de terrain ainsi que par les personnes-ressources auxquelles elle a été présentée au cours d'un nouvel entretien.

II-2-2) Construction d'un échantillon de parcelles

L'objectif est de construire un échantillon de parcelles qui représente la plus large gamme possible de situations existantes sur les parcelles paysannes, sans chercher à représenter les proportions de chacune de ces situations au sein de la zone d'étude⁵. La diversité de situations sur les parcelles de cocotiers est *a priori* déterminée par les différentes conditions agroécologiques et socio-économiques au sein de la zone d'étude ainsi que par les différentes pratiques des exploitants. Elles se traduisent par la structure de la végétation (et en particulier le stade de développement des cocotiers et le type d'association) sur leurs parcelles : par exemple des cocotiers juvéniles associés à un jardin vivrier, des cocotiers en production associés à des bovins ou bien des cocotiers en production associés à des cacaoyers, etc.

Le recensement exhaustif des situations sur les parcelles de la zone d'étude étant exclu (environ 710 exploitations recensées sur l'île de Malo en 1999, VSO, 1999), une stratégie d'échantillonnage est mise en œuvre. Elle repose sur le zonage préalable de la zone d'étude, en particulier sur la stratification des facteurs socio-économiques et agroécologiques (type de sol, caractéristiques climatiques, opportunité de commercialisation des productions, etc.) susceptibles de participer à la diversité de situations sur les parcelles de cocotiers de l'île.

Des enquêtes auprès des exploitants des principaux villages sont réalisées afin de repérer la diversité de situations existant au sein de chacune des zones de production identifiées au terme du zonage. A ce stade on questionne les exploitants de chaque village pour savoir ; (i) depuis quand les parcelles de cocotiers sont-elles installées ? (ii) quels types d'association sont réalisés sur ces parcelles ? (iii) la dynamique de plantation de cocotiers se poursuit-elle actuellement ? si oui, comment ? (sur défriche ? sur d'anciennes parcelles ?) et (iv) à qui appartiennent les différentes parcelles mentionnées ?

Des repérages de situations sur le terrain complètent la construction de l'échantillon de parcelles. Cent quatre-vingt dix parcelles ont ainsi été progressivement sélectionnées et décrites entre juin 2002 et décembre 2003. Dans la zone Ouest, on a décrit 116 parcelles, appartenant à une cinquantaine d'exploitants différents et dans la zone Centre-Est, on a décrit 75 parcelles appartenant à une trentaine d'exploitants différents. La position de ces parcelles dans l'île est illustrée sur la figure 4. L'échantillon de parcelles ainsi constitué représente les différents types d'association mis en œuvre sur les parcelles paysannes de cocotiers de l'île, et ce pour une période de 85 ans à compter de la plantation des cocotiers.

⁵ Notre échantillon inclut des situations dont la représentativité sur le terrain peut être marginale mais qui par leur originalité sont intéressante pour étudier le devenir des systèmes de culture paysans. Par ailleurs, si l'échantillon devait représenter les proportions de chaque type de situation dans la zone d'étude, il faudrait au préalable repérer et quantifier l'importance de chaque type de situation. Or, ceci représente un lourd travail (voir discussion sur l'utilisation de l'imagerie à très haute résolution, chapitre IV).

II-2-3-2) Structure de la végétation

Pour chaque parcelle, la structure de la végétation est décrite par un ensemble d'observations comprenant (i) l'estimation de la surface, (ii) l'identification de toutes les espèces cultivées (ou potentiellement utilisables⁶), (iii) leur nombre ou densité, (iv) la répartition horizontale (au sol), et (v) la répartition verticale de ces différentes espèces.

(i) Estimation de la surface

La surface de la parcelle est estimée à partir du relevé GPS (Geographical Positioning System) des limites de la parcelle (lorsque la précision du signal obtenu est inférieure ou égale à 5m), sinon la surface est calculée par triangulation. Les détails relatifs aux différentes méthodes de calcul des surfaces sont présentés en annexe 3.

(ii) Identification des espèces

La (ou les) espèce(s) majeure(s) constituant le peuplement sont d'abord identifiées puis toutes les autres espèces cultivées (ou potentiellement utilisables). Par espèce majeure, on entend ici l'espèce qui correspond à la principale production de la parcelle ou l'espèce sur laquelle l'étude se concentre, en général elle correspond également à l'espèce la plus représentée en nombre et surface sur la parcelle. Le cocotier sera donc considéré comme une espèce majeure. Les espèces représentées par quelques individus sont regroupées selon leur nature et/ou selon leurs usages. Par exemple, les bananiers (*Musa* spp.) et papayers (*Carica papaya*) sont regroupés sous le terme « espèces vivrières semi-pérennes », tandis que les manguiers (*Mangifera indica*), les naves (*Barringtonia edulis*), les bourrao (*Hibiscus tiliaceus*) sont regroupés comme « espèces ligneuses ».

(iii) Densité de plantation et indices d'agrobiodiversité

La densité de plantation de(s) l'espèce(s) majeure(s) est estimée en comptant le nombre d'individus présents sur trois placettes de 900 m² chacune. Pour les autres espèces, on compte le nombre d'individus présents sur l'ensemble de la parcelle.

Deux indices sont utilisés pour estimer le niveau d'agrobiodiversité de chaque parcelle ; (i) la richesse du peuplement (*i.e* le nombre total d'espèces cultivées ou utilisées sur la parcelle) et (ii) l'indice de diversité de Shannon Weaver qui permet d'évaluer le niveau de diversité compte-tenu des proportions de chacune des espèces sur la parcelle (Frontier et Pichot-Viale, 1998). L'indice de Shannon Weaver (H) est calculé d'après la relation suivante, où « s » correspond au nombre d'espèces constituant le peuplement, « Ni » au nombre d'individus de l'espèce i et « N » au nombre total d'individus (toutes espèces confondues);

Équation 1 :
$$H = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \times \ln \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

⁶ de fait, cela correspond à toutes les espèces de la parcelle à l'exception de celles qui composent le couvert herbacé spontané qui peut également être considéré comme utile quand pâture par des bovins.

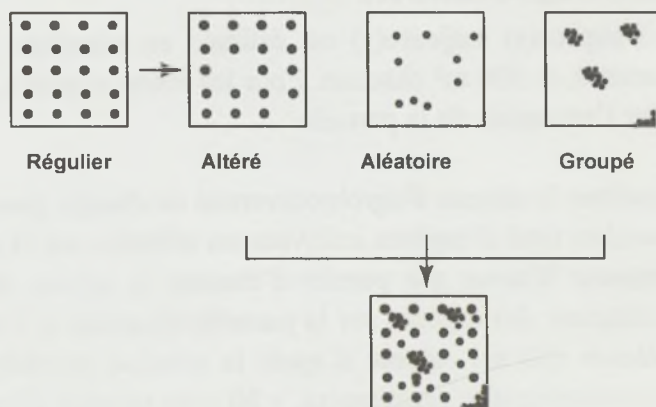
Pour chaque parcelle de l'échantillon, la richesse et l'indice de Shannon Weaver ont été calculés pour l'ensemble des espèces afin d'estimer le niveau global d'agrobiodiversité de la parcelle puis séparément (pour les espèces ligneuses et pour les espèces herbacées) afin d'estimer le niveau de diversité spécifique de chaque type d'espèce.

(iv) Répartition horizontale de la végétation

Théoriquement, la répartition horizontale (ou la répartition au sol) d'une espèce peut être de type « régulière » (lorsqu'une espèce est implantée selon un motif régulier), « aléatoire » ou « groupée ». Une répartition initialement de type régulière peut être modifiée par la disparition de quelques individus dans le motif (suite à leur mortalité ou abattage), on parlera alors de répartition « altérée ».

Le type de répartition de chaque espèce a d'abord été estimé visuellement. Pour préciser le motif de plantation des gros arbres, leur position a été relevée par GPS lorsque le signal le permettait. Les distances entre les rangs et entre les individus des espèces majeures sur le rang ont été mesurées pour préciser leur motif de plantation. La régularité de ces motifs de plantation a été précisée par un système simple de notation (de 0 : pas de motif visible à +++ : motif régulier). La répartition horizontale de la végétation est ensuite représentée en superposant la répartition horizontale de chaque espèce ou groupe d'espèces présent sur la parcelle (figure 5). Cette représentation sera plus ou moins complexe selon le nombre d'espèces et leur répartition respective.

La répartition horizontale (au sol) d'une espèce peut être de type :



Le type de répartition de chaque espèce ou catégorie d'espèce présent sur la parcelle est superposé pour obtenir une carte de la répartition horizontale de la végétation de la parcelle

Illustration CIRAD: N. Lamanda & M. Duportal

Figure 5: Les différents types théoriques de la répartition horizontale d'une espèce et leur superposition pour représenter un exemple de répartition horizontale de la végétation sur une parcelle.

(v) Répartition verticale de la végétation

L'analyse de la hauteur des différentes plantes permet de décrire la répartition verticale de la végétation (profil). Le profil peut être assimilé à une seule strate (le profil n'est pas différencié lorsque les canopées des différentes espèces sont situées à la même hauteur) ou de plusieurs strates (profil différencié, multistrate). Lorsque le profil est différencié, une espèce peut théoriquement être « dominée », (quand des espèces plus hautes sont présentes), « dominante » (quand des espèces moins hautes sont présentes) ou à la fois dominée et dominante (quand à la fois des espèces plus et moins hautes sont présentes) (figure 6, inspirée de Schütz 1997).

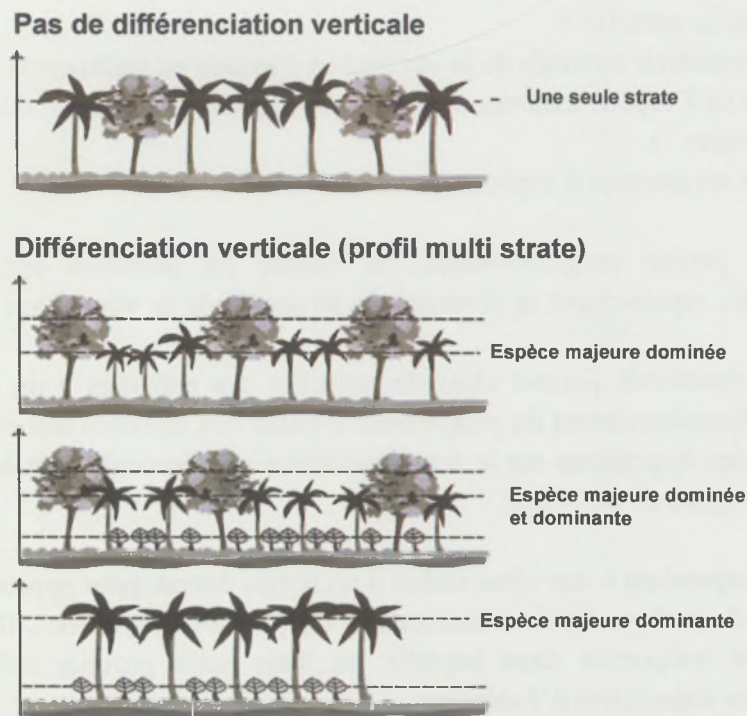


Illustration CIRAD: N. Lamanda & M. Duportal

Figure 6: Les différents types théoriques de répartition verticale de la végétation et les positionnements de l'espèce majeure dans ces profils (inspiré de Schütz 1997).

La différenciation verticale du profil a été estimée visuellement puis affinée par la mesure au clinomètre de la hauteur d'un échantillon d'individus pour chacune des espèces ligneuses. Les individus de moins de 1,50 m n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Un exemple de grille de relevés des différents critères de structure de la végétation sur les parcelles de cocotiers est proposé en annexe 4.

II-2-4) Classification des parcelles en groupes structurels

La structure de la végétation décrite pour chacune des parcelles de l'échantillon est à la base de leur classification en groupe structurel (ou type de structure de la végétation).

Les différents groupes structurels sont progressivement construits en soumettant chaque parcelle à un ensemble de 6 questions relatives aux paramètres concernant la structure de la végétation précédemment décrits :

- (1) quelle est l'espèce majeure sur la parcelle ?
- (2) quel est le niveau d'agrobiodiversité ?
- (3) quel est le type de répartition horizontale de l'espèce majeure et des autres groupes d'espèces présents sur la parcelle ?
- (4) quel est le type de répartition verticale de la végétation ? (mono ou multistrate ?)
- (5) quelle est la position de l'espèce majeure dans le profil vertical ? (dominée, dominante ou dominée et dominante ?)
- (6) Quel sont les espèces ou groupes d'espèces dominés ?

Répondre à ces questions permet progressivement de classer les parcelles décrites en différents groupes structurels, représentant la diversité de structure de la végétation dans la zone d'étude.

Ce classement en groupes structurels permet alors de rattacher ces parcelles à un type de compétition déterminant le fonctionnement du peuplement à partir des modèles théoriques de Schütz et ainsi de formuler des hypothèses sur le fonctionnement agroécologique et les voies d'évolution de ces différents types de parcelles.

Les groupes structurels correspondant à une observation à un temps donné, pour approcher les systèmes de culture à partir de la diversité de situations sur les parcelles paysannes, il faut se placer dans une perspective temporelle dans laquelle les liens entre groupes structurels apparaissent et définissent des trajectoires d'évolution.

II-2-5) Construction d'une matrice des situations culturelles

Une matrice des situations culturelles qui combine les groupes structurels précédemment définis (dont la liste constitue l'axe Y de la matrice) et le temps (axe X de la matrice) est construite pour replacer les différentes situations précédemment décrites dans une perspective temporelle. Le temps est représenté par les différents stades de développement de l'espèce majeure compte-tenu de sa biologie dans les conditions locales (établie par enquêtes auprès des exploitants). Quatre stades de développement ont ainsi été définis pour le cocotier, espèce majeure dans le cadre de cette étude : (1) stade juvénile (0-7 ans après plantation des cocotiers), (2) stade début de production (8-15 ans), (3) stade productif (16 -60 ans environ), et (4) stade sénescant (plus de 60 ans). Les phénomènes de compétitions pour la lumière ou les éléments nutritifs pouvant retarder l'entrée en production, l'âge des cocotiers n'est pas une donnée observable sur le terrain et doit donc être renseignée par enquête.

Une situation culturelle correspond à une case de la matrice, c'est à dire comme l'intersection d'un type de groupe structurel et d'un stade de développement de l'espèce majeure.

Toutes les parcelles décrites sont positionnées dans la matrice selon le type de groupe structurel auquel elles appartiennent (axe Y) et le stade de développement des cocotiers sur la parcelle (axe X). Différentes parcelles de l'échantillon peuvent décrire une même situation culturelle.

L'histoire culturelle de chaque parcelle décrite, (exprimée en terme de succession de groupes structurels au cours du développement des cocotiers) est positionnée dans la matrice et permet de relier entre-elles différentes situations culturelles. Au final, on identifie les principales trajectoires (succession de situations culturelles qui représentent les dynamiques temporelles des principaux systèmes de culture) et leurs situations clés. Chaque groupe structurel pouvant être rattaché par les propositions théoriques de Schütz à des hypothèses de fonctionnement agroécologique, il devient alors possible de formuler des hypothèses sur l'évolution du fonctionnement agroécologique au cours du temps pour chaque type de système de culture.

Notons bien que les groupes structurels définis le sont à partir de réalités de terrain actuellement observables. Il est donc théoriquement possible que, du fait d'une évolution des pratiques, les situations correspondant aux stades juvéniles des parcelles de cocotiers les plus anciennes ne se retrouvent plus au moment de la description des parcelles sur le terrain. Dans ce cas, il ne serait alors pas possible de reconstruire la trajectoire des parcelles les plus anciennes.

II-3) Résultats : l'organisation spatiale et les dynamiques temporelles des systèmes de culture

Après avoir caractérisé le processus historique à l'origine de l'organisation spatiale actuelle de la cocoteraie dans l'île, on analyse les caractéristiques de la végétation sur les parcelles paysannes de l'échantillon. Douze groupes structurels ont été identifiés et positionnés dans une matrice des situations culturelles qui permet finalement d'identifier les principaux systèmes de culture paysans et leurs dynamiques temporelles.

II-3-1) Le processus historique à l'origine de l'organisation spatiale actuelle

La dynamique historique d'implantation de la cocoteraie et ses différentes étapes à l'origine de l'organisation actuelle de la cocoteraie sur l'île de Malo sont schématisées sur la figure 7 (extrait de Lamanda *et al.*, 2004) et commentées ci dessous. On distingue actuellement deux zones (Ouest et Centre Est) qui correspondent à différents contextes de production paysanne de coprah au sein de l'île, leurs caractéristiques de chacune de ces zones sont rapidement présentées.

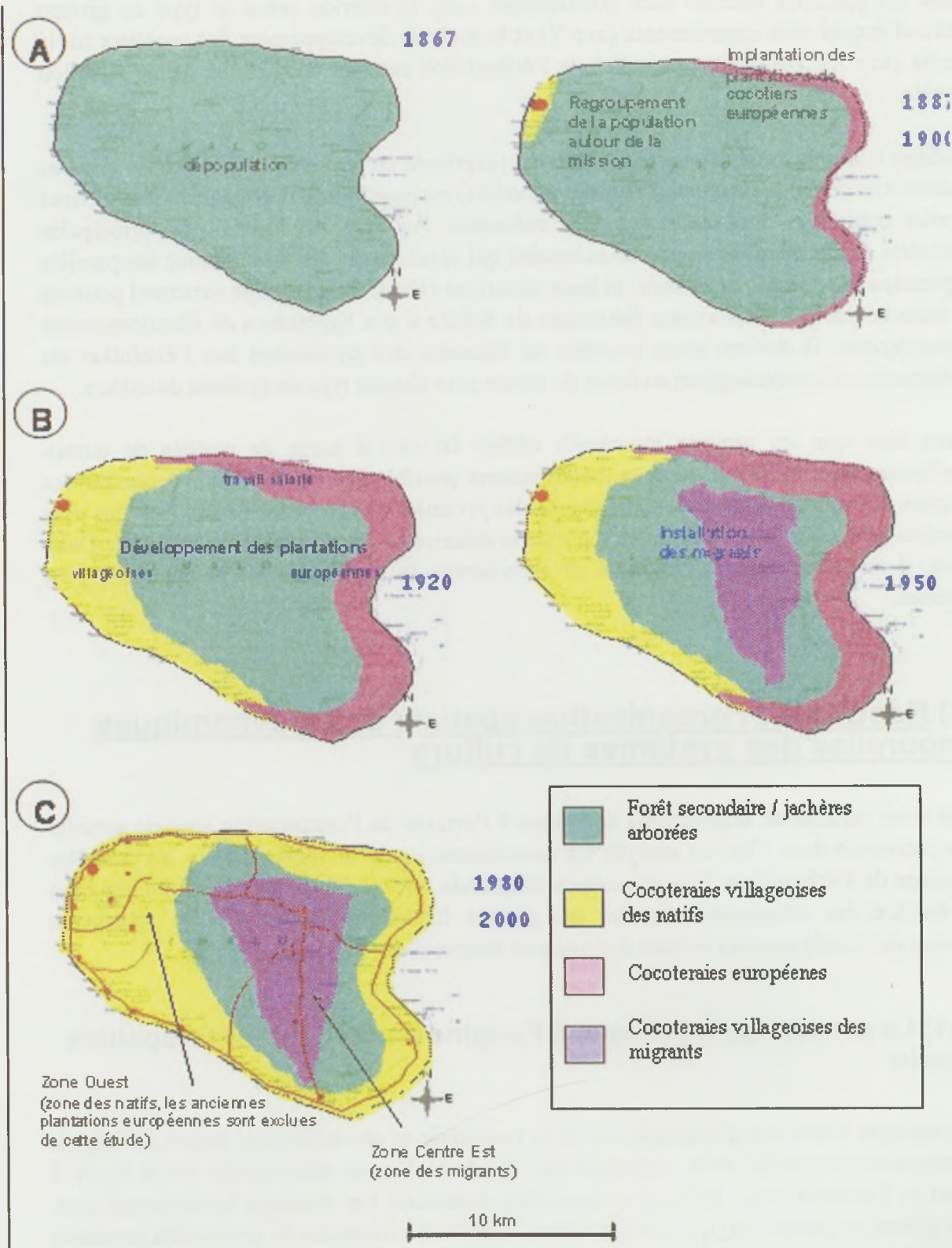


Figure 7: La dynamique d'implantation de la cocoteraie sur Malo (extrait de Lamanda *et al.*, 2004).

a) Début du XX^e siècle : le cocotier acquiert une valeur marchande (figure 7 A)

L'île de Malo est découverte par Bougainville en 1767. Les épidémies, provoquées par les contacts qui suivent ainsi que les recrutements forcés de main-d'œuvre entraînent une importante baisse de la population de l'île. Au début du XX^e siècle, on ne recense plus que 450 habitants pour environ 3 000 habitants en 1890 (Allen, 2001). La population se regroupe auprès de la mission presbytérienne qui s'installe dès 1887 sur le littoral à l'ouest de l'île. Dès le début du XX^e siècle, des colons européens installent, après spoliation de la terre, des plantations de cocotiers sur le littoral nord-est de l'île. Celui-ci offre d'excellentes conditions agroécologiques et une liaison rapide avec Luganville, lieu d'achat du coprah, déterminant ainsi la localisation initiale des cocoteraies sur l'île. Dans le système agraire traditionnel, le cocotier a une vocation alimentaire et rituelle ; avec l'installation des premiers planteurs européens il acquiert désormais une valeur marchande (figure 7A).

b) Au milieu du XX^e siècle, les plantations villageoises se développent et le cocotier devient un moyen de capitalisation (figure 7 B)

Depuis le début du siècle, les habitants de Malo, encouragés par les missionnaires, mettent en place leurs propres plantations autour des villages et sur le littoral. Par l'opportunité de travail salarié qu'elles offrent, les plantations de cocotiers européennes attirent à la fois les natifs de Malo et les habitants des îles voisines. Le travail salarié dans les plantations permet aux migrants d'économiser, puis d'acheter des terres sur Malo. Les propriétaires fonciers leur concèdent alors aisément les terres moins peuplées du centre de l'île. Les migrants installent ainsi leurs propres plantations sur lesquelles ils s'établissent définitivement.

En 1969, 1 740 hectares de plantations européennes et 710 hectares de plantations autochtones sont recensés, soit un total de 2 450 hectares de cocoteraie (IRHO, 1969), ce qui correspond à environ 12 % de la surface totale de l'île.

Les dynamiques d'installation du peuplement humain et celles des cocoteraies sont ainsi étroitement liées et expliquent leurs organisations spatiales actuelles respectives sur l'île.

Le littoral de la zone Ouest, où la population est regroupée autour de la mission, est le point initial du développement des plantations villageoises en direction du plateau. Les migrants, disséminés sur le plateau au centre de l'île sont ensuite à l'origine du développement de la cocoteraie dans cette zone. L'extension de la cocoteraie s'effectue donc d'une part à partir du littoral en direction de l'intérieur des terres et d'autre part en rayonnant autour des villages. Ce schéma permet d'expliquer la localisation géographique des différentes classes d'âges du peuplement cocotier sur l'île : alors que les cocoteraies les plus âgées sont situées sur le littoral et à proximité des villages, les peuplements les plus jeunes sont situés plus à l'intérieur des terres et à plus grande distance des villages.

Ce phénomène n'est pas spécifique à l'île de Malo ; il a également été décrit pour d'autres îles du nord de l'archipel, et peut être considéré comme le mode d'organisation classique de la cocoteraie au Vanuatu (Barrau, 1955; Bonnemaïson, 1974; Weightman, 1989). Sur ces territoires où l'espace cultivable est limité, la cocoteraie se développe aux dépens de la forêt secondaire ou en réduisant les cycles de jachère des jardins vivriers. Cette répartition géographique soulève donc la question déterminante du partage de l'espace cultivable encore

disponible entre cocoteraies, cultures vivrières et jachère, la majorité de l'espace cultivable étant actuellement dédié à la cocoteraie.

c) Fin du XX^e siècle—début du XXI^e siècle : organisation spatiale actuelle, résultant de la dynamique d'implantation des cocoteraies (figure 7 C).

Avec le développement de la cocoteraie, la terre, qui appartient traditionnellement au clan, change de statut et acquiert une valeur marchande. Son usage se « privatise ». Les revendications foncières sont à l'origine d'importants conflits, entre notamment les européens et les natifs de Malo. Ces conflits se solderont par l'expulsion des européens, puis évolueront en litiges entre les natifs pour le partage des plantations européennes, suite au retour à la propriété coutumière instaurée par la nouvelle constitution du Vanuatu (déclaration de l'Indépendance en 1980).

L'histoire du peuplement humain se surimpose ainsi à la diversité agroécologique existant à l'intérieur de l'île (décrite au chapitre I-3). Aujourd'hui, on peut distinguer deux contextes géographiques de production différents sur l'île de Malo, la zone Centre-Est et la zone Ouest.

- Au Centre-Est, la zone des migrants tend à s'étendre (ainsi que les surfaces plantées en cocotiers) vers le Nord-Est et le Sud Ouest. Cette zone, agro écologiquement homogène (sol de plateau), est caractérisée par un habitat de type dispersé, un parcellaire regroupé, chaque famille possédant une ou deux parcelles généralement proches du lieu d'habitation.
- Dans la zone Ouest, où sont localisées les populations « natives », et où les conditions agroécologiques sont plus hétérogènes, on peut distinguer des sols coralliens peu profonds sur le littoral et des sols argileux sur le plateau et le piémont. Dans cette zone, l'habitat est de type groupé (en villages), et le parcellaire de type dispersé ; chaque famille possédant en moyenne entre trois et quatre parcelles à souvent plus de 30 minutes de marche l'une de l'autre. Les infrastructures sont plus développées (dispensaire, école, marché, routes) et le lien avec Luganville plus direct (embarcadère de Naoneban, routes), présentant par conséquent des coûts de transport moindres et de meilleures opportunités de commercialisation des productions.

Ces caractéristiques, agroécologiques mais aussi sociales et structurelles, ont marqué les stratégies des exploitants et ont façonné les systèmes de culture de l'île. Les pratiques mises en œuvre par les exploitants se traduisent par la structure de la végétation sur leurs parcelles de cocotiers.

Dans les pages qui suivent, les différents éléments de structure de la végétation (densité, nombre d'espèces, répartition horizontale et verticale) sont d'abord analysés un à un puis combinés pour définir les différents types de structure de la végétation retrouvés sur les parcelles cocotiers de Malo. Cette typologie, replacée dans une perspective temporelle, permettra ensuite d'identifier les systèmes de culture à base de cocotiers.

II-3-2) Caractéristiques de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers

Les caractéristiques de la structure de la végétation sur les parcelles de notre échantillon sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau 1: les caractéristiques de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers de Malo

Caractéristiques de la structure de la végétation (n= 190 parcelles)	Moyenne	CV %	Min	Max
Nombre d'espèces (par parcelle)	15	40	4	40
Nombre d'espèces ligneuses (par parcelle)	12	43	0	28
Nombre d'espèces semi pérennes (par parcelle)	3	108	0	12
Valeur de l'indice de Shannon Weaver (toutes espèces utiles confondues)	1.57	36.7	0.14	2.81
Valeur de l'indice de Shannon Weaver (espèces ligneuses exclusivement)	1.50	42.6	0	2.88
Valeur de l'indice de Shannon Weaver (espèces semi pérennes exclusivement)	0.61	107	0	1.94
Densité de plantation des cocotiers (par ha - toute génération confondues)	164	61	11	744
Densité de plantation des cocotiers (par ha - 1 ^{ère} génération exclusivement)	148	52	0	457
Densité de plantation des espèces ligneuses (par ha - cocotiers et cacaoyers exclus)	223	149	3	2733
Densité de plantation des cocotiers / densité de plantation des espèces ligneuses (toutes espèces confondues)	0.50	52	0.05	0.99
Densité de plantation des cacaoyers (par ha)	209	238	0	1053
Âge des cocotiers de la 1 ^{ère} génération (années après plantation)	35	28	de 0 à 84 ans après la plantation des cocotiers	
Surface de la parcelle (ha)	1	118	0.01	4

La surface moyenne des parcelles est de 1 ha, avec des valeurs s'échelonnant de 0,01 à 4 ha. Les plus petites parcelles correspondent généralement à des jardins vivriers complantés de cocotiers juvéniles. Différents jardins vivriers complantés de cocotiers juvéniles sont progressivement juxtaposés pour constituer une seule parcelle où le peuplement de cocotiers, une fois atteint le stade productif, apparaît comme relativement homogène (on ne reconnaît que difficilement les zones correspondant à des dates de plantation différentes). On rappelle que dans cette étude, une parcelle a été définie comme une surface appartenant au même exploitant et sur laquelle on retrouve un même type de structure de la végétation et un même stade de développement des cocotiers. Cette définition, si elle est opérationnelle pour des parcelles en production, s'applique plus difficilement pour les parcelles en cours d'implantation. Dans ces situations, où le passage d'un type de structure de la végétation à un

autre semble s'effectuer progressivement, il est en effet parfois difficile de repérer les limites de différentes zones.

II-3-2-1) Agrobiodiversité

Un total de 90 espèces utiles a été recensé sur les parcelles de cocotiers de Malo, parmi lesquelles 49 espèces ligneuses, essentiellement des arbres fruitiers, et 41 espèces semi-pérennes, le plus souvent à vocation vivrière. Une liste de ces espèces avec leur nom local et scientifique ainsi que leurs usages locaux respectifs est disponible en annexe 5. L'espèce majeure est toujours le cocotier, qui est parfois associé au cacaoyer, constituant alors (du fait de leur représentation spatiale et numéraire) une seconde espèce majeure sur les parcelles paysannes.

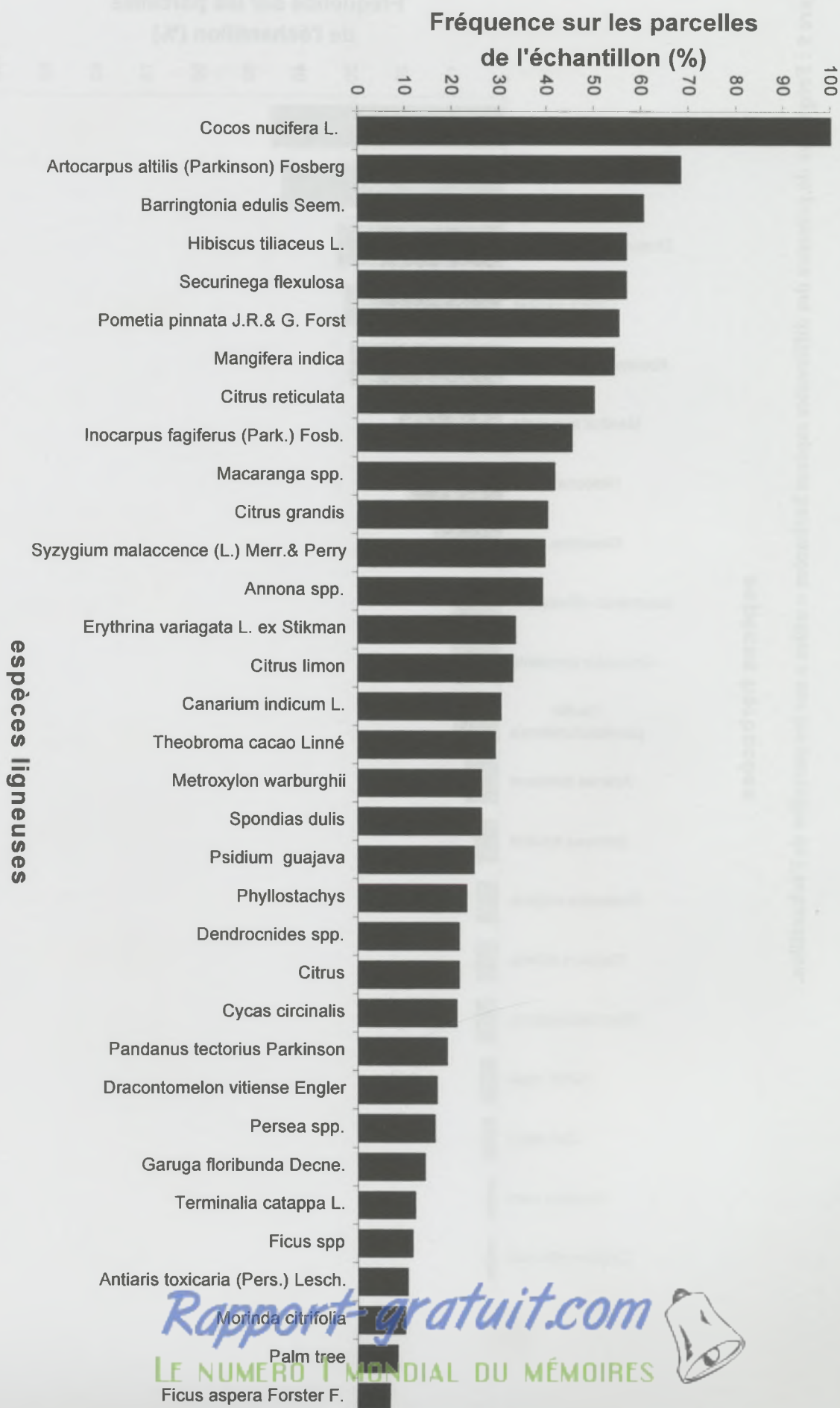
Par parcelle, on retrouve en moyenne 16 espèces différentes associées aux cocotiers, avec un minimum de 4 et un maximum de 40 espèces dans notre échantillon (tableau 1). Cette valeur moyenne est proche de celles reportées pour d'autres systèmes agroforestiers en zones tropicales humides⁷, entre 3 et 25 espèces ligneuses ont par exemple été recensées dans les jardins agroforestiers du Kerala en Inde (Kumar *et al.*, 1994). Les espèces les plus fréquemment recensées sont des espèces ligneuses fruitières telle que l'arbre à pain (*Artocarpus altilis*), les naves (*Barringtonia edulis*), les manguiers (*Mangifera indica*) identifiées respectivement sur 68, 60 et 55% des parcelles décrites (figure 8). Des espèces vivrières semi-pérennes telle que les bananiers (*Musa spp.*), les papayers (*Carica papaya*), les macabos (*Xanthosoma sagittifolium*), les ignames sauvages (*Discorea numularia*) sont également fréquemment associées aux cocotiers (sur environ 35 % des parcelles composant notre échantillon, figure 9).

La valeur de l'indice de diversité spécifique de Shannon-Weaver calculé pour l'ensemble des espèces potentiellement utilisables répertoriées sur les parcelles paysannes varie entre 0,14 et 2,81 (pour une moyenne de 1,57). Cette valeur moyenne est du même ordre de grandeur que celles reportées pour d'autres systèmes agroforestiers en zones tropicales humides, des valeurs de l'indice de Shannon-Weaver entre 1,9 et 2,8 ont par exemple été reportées pour des systèmes agroforestiers thaïlandais (Gajasen et Gajasen, 1999). Des valeurs moyennes de 1,68 (variant entre 0 et 2,93) ont été reportées pour des parcs agroforestiers en zone sahélienne (Barbier et Galletti, 2002).

La diversité en espèces ligneuses sur les parcelles de cocotier est plus importante que la diversité en espèces semi-pérennes ; la valeur moyenne de l'indice de Shannon Weaver est de 1,50 pour les espèces ligneuses contre 0,60 pour les semi-pérennes. Le nombre d'individus ligneux (toutes espèces confondues) associés aux cocotiers varie entre 3 et 2730 arbres par ha sur les parcelles paysannes, illustrant à nouveau la grande diversité de situations sur les parcelles paysannes. Des situations très variées correspondent également à l'association d'espèces semi-pérennes avec les cocotiers, allant de situations très complexes, où des jardins vivriers sont complantés de cocotiers juvéniles, à des situations plus simples où les espèces semi-pérennes ne sont représentées que par quelques individus d'une même espèce associés aux cocotiers.

⁷ Pour une revue complète des éléments de structure de la végétation dans les systèmes agroforestiers, se reporter à Kumar et Nair, 2004.

Figure 8: Fréquence de présence des différentes espèces ligneuses sur les parcelles de l'échantillon.

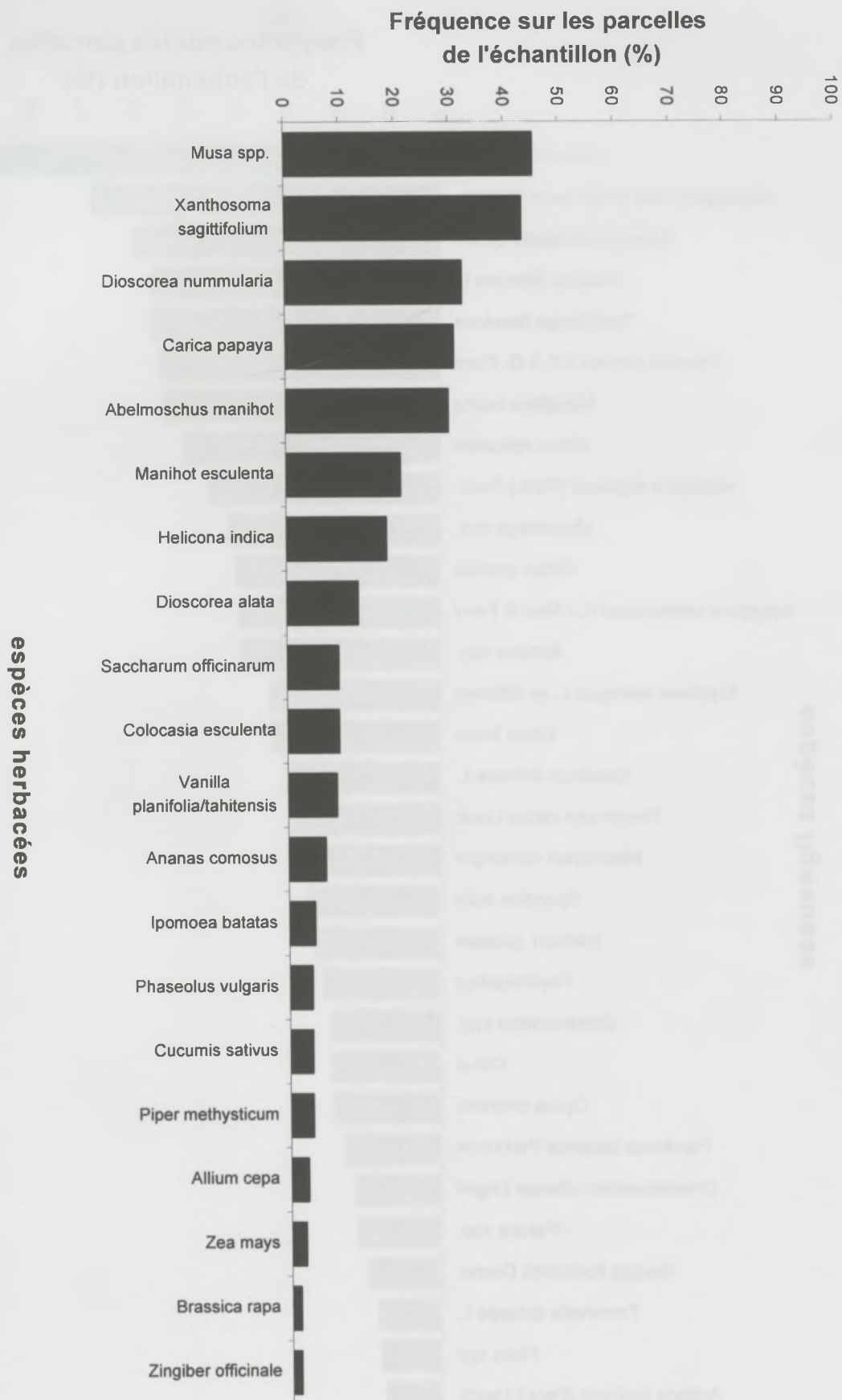


Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Figure 9 : Fréquence de présence des différentes espèces herbacées « utiles » sur les parcelles de l'échantillon.



A la forte agro biodiversité spécifique caractérisée sur les parcelles paysannes de cocotiers, il faut ajouter une importante diversité intra spécifique (non caractérisée dans le cadre de cette étude). Caillon (2004) a ainsi mis en évidence 75 types de cocotiers différents au Vanuatu, (dont au moins un critère morphologique caractéristique le discrimine des autres, par exemple la présence d'un anneau rouge autour du pédoncule des noix immatures). Trente huit types sont retrouvés dans le village de Vêtuboso sur l'île de Vanua Lava (Nord Vanuatu). En moyenne on retrouve 7,2 types de cocotiers par parcelle à Vêtuboso (Caillon, travaux en cours). Walter (1989) a mis en évidence 32 « cultivars » d'arbre à pain différents cultivés au Vanuatu.

II-3-2-2) Densité des espèces majeures : cocotiers & cacaoyers

(i) Densité des cocotiers sur les parcelles paysannes

Une densité moyenne de 148 cocotiers.ha⁻¹ a été calculée pour les parcelles paysannes de Malo (tableau 1). Dans la plupart des cas, la densité des cocotiers est comprise entre 101 et 150 cocotiers.ha⁻¹ (30% des parcelles étudiées) ou entre 151 et 200 cocotiers.ha⁻¹ (30% des parcelles figure 10), ce qui est relativement proche de la densité de 143 cocotiers.ha⁻¹, considérée comme la densité optimale et recommandée pour la plantation pour des cocotiers de type Grands (de Taffm, 1998). Une grande variabilité caractérise cependant la densité de cocotiers observée sur les parcelles paysannes ; qui, dans notre échantillon, varie entre 11 et 744 cocotiers.ha⁻¹ (tableau 1 et figure 10). Caillon (travaux en cours) met en évidence une densité moyenne de 223 cocotiers.ha⁻¹ pour les plantations paysannes de Vêtuboso, également caractérisée par une grande variabilité d'une parcelle à l'autre.

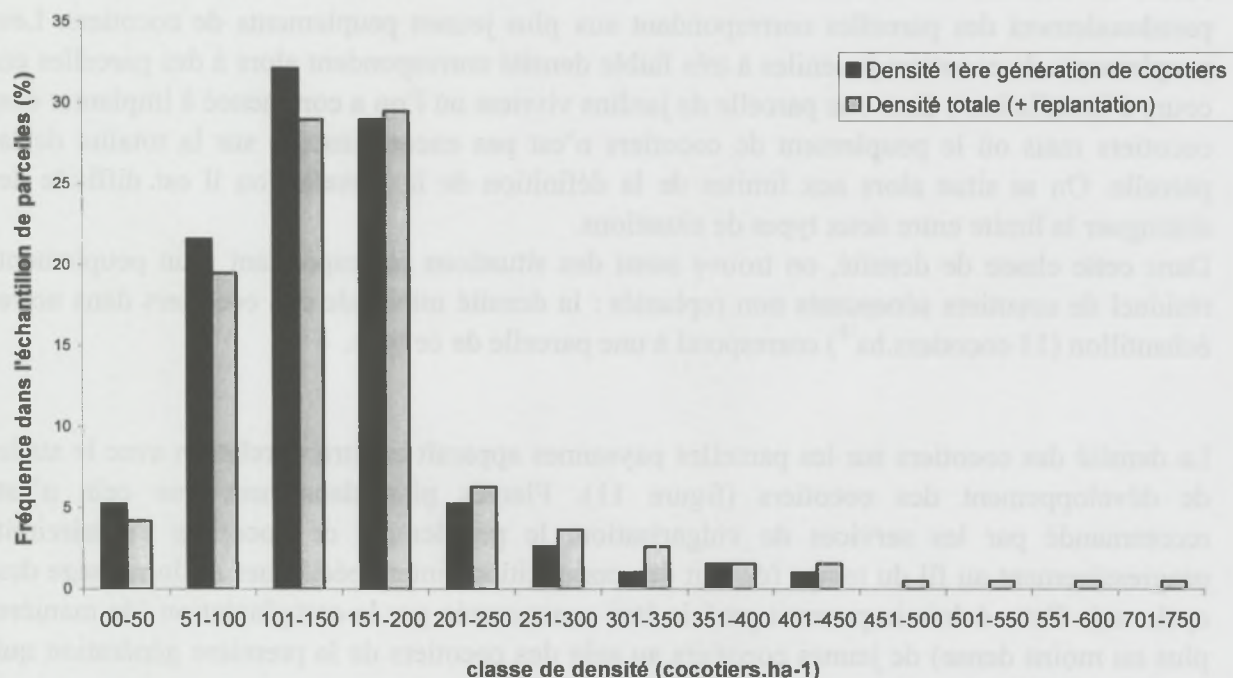


Figure 10 : Fréquence des différentes classes de densité des cocotiers sur les parcelles de l'échantillon

Les densités de plus de 300 cocotiers.ha⁻¹ correspondent à deux types de situations : (i) les complantations (replantations où plusieurs générations de cocotiers co-existent sur la parcelle) et (ii) les parcelles sur lesquelles le peuplement de cocotiers est le plus jeune.

Les densités maximales observées (544, 600 et 744 cocotiers.ha⁻¹) correspondent à des situations de complantation systématique, *i.e.* lorsque la replantation est effectuée avec une forte densité (supérieure à 250 cocotiers.ha⁻¹) et avec un dispositif régulier sur la totalité de la parcelle ; les jeunes cocotiers sont plantés entre les lignes de la première génération de cocotiers qui subsiste sur la parcelle). Il existe une autre forme de replantation, moins dense (où la densité de la seconde génération est inférieure à 200 cocotiers.ha⁻¹) et où les jeunes cocotiers sont implantés çà et là au sein de la première génération qui subsiste sur la parcelle. Les densités correspondant à cette seconde forme de replantation sont comprises entre 251 et 450 cocotiers.ha⁻¹.

La densité des cocotiers sur les parcelles correspondant aux peuplements de cocotiers les plus jeunes est comprise dans la même fourchette que la deuxième forme de replantation (entre 201 et 450 cocotiers.ha⁻¹). Ces jeunes peuplements de cocotiers (5 ans après la plantation) sont installés par les exploitants avec une densité délibérément importante, afin d'intégrer les risques de perte par mortalité des plants jeunes puis au cours du développement des cocotiers. En grande plantation, où les conditions sont favorables à la culture du cocotier, on considère comme normal de devoir remplacer, au cours des deux premières années, environ 2% de la plantation (de Taffin, 1998). En plantation paysanne, les pertes seraient beaucoup plus importantes, du fait notamment des relations de compétitions entre les jeunes cocotiers et les autres espèces de la jachère arborée au sein de laquelle ils sont plantés (ombrage par les autres espèces ligneuses, étouffement par les espèces herbacées...).

Parmi les densités de cocotiers minimales (moins de 50 cocotiers.ha⁻¹), on retrouve aussi paradoxalement des parcelles correspondant aux plus jeunes peuplements de cocotiers. Les peuplements de cocotiers juvéniles à très faible densité correspondent alors à des parcelles en cours d'installation ; dans une parcelle de jardins vivriers où l'on a commencé à implanter des cocotiers mais où le peuplement de cocotiers n'est pas encore installé sur la totalité de la parcelle. On se situe alors aux limites de la définition de la parcelle, ou il est difficile de distinguer la limite entre deux types de situations.

Dans cette classe de densité, on trouve aussi des situations correspondant à un peuplement résiduel de cocotiers sénescents non replantés : la densité minimale des cocotiers dans notre échantillon (11 cocotiers.ha⁻¹) correspond à une parcelle de ce type.

La densité des cocotiers sur les parcelles paysannes apparaît en étroite relation avec le stade de développement des cocotiers (figure 11). Plantés plus densément que cela n'est recommandé par les services de vulgarisation, le peuplement de cocotiers s'éclaircirait progressivement au fil du temps (du fait des compétitions inter spécifiques et du passage des cyclones). Cette éclaircie pourrait parfois être contrecarrée par la complantation (de manière plus ou moins dense) de jeunes cocotiers au sein des cocotiers de la première génération qui subsistent sur la parcelle.

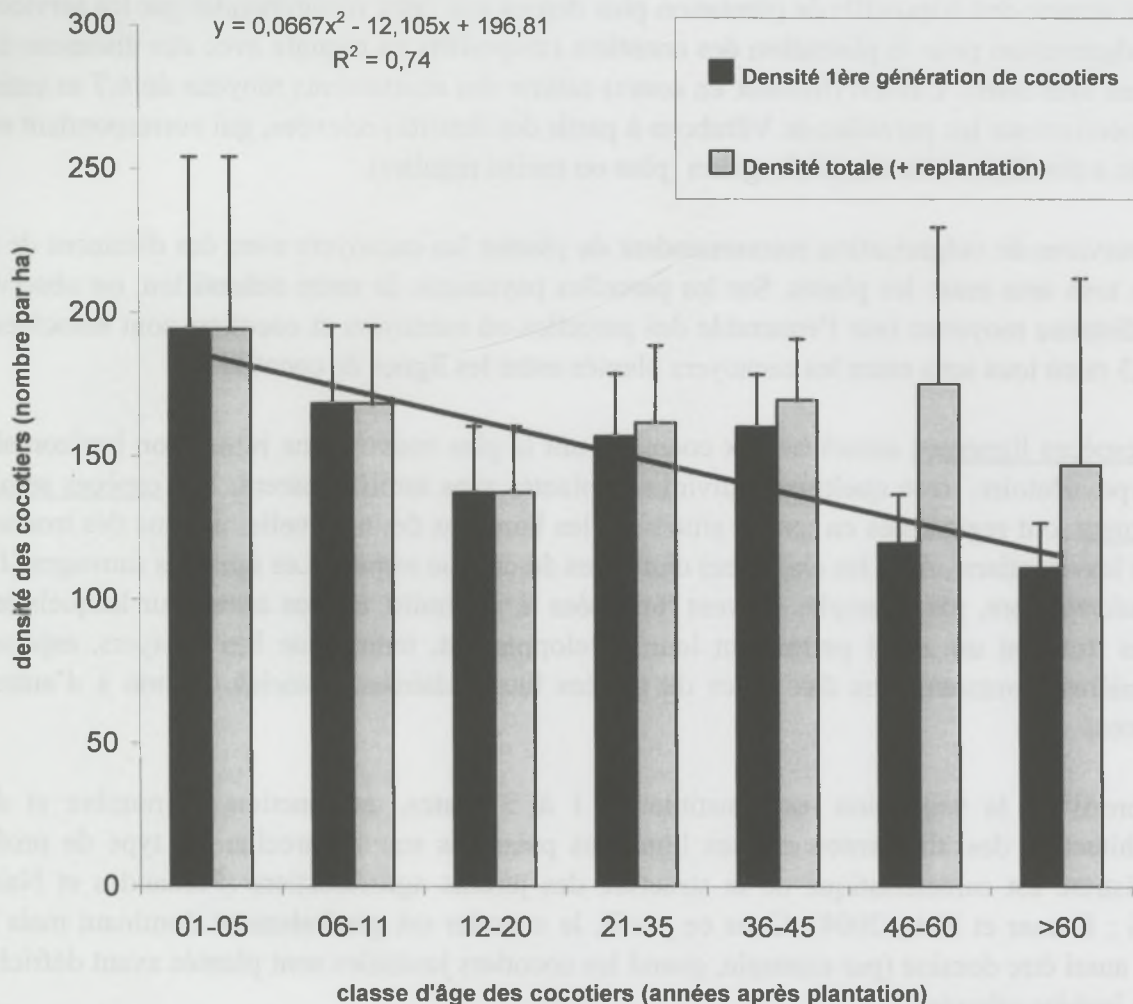


Figure 11 : Evolution de la densité de cocotiers au cours du développement des cocotiers

(ii) densité des cacaoyers sur les parcelles paysannes de cocotiers

Dans notre échantillon de parcelles paysannes de cocotiers, pour la majorité des parcelles sur lesquelles un peuplement de cacaoyers a également été décrit, ce peuplement de cacaoyers correspondait à un peuplement sénescant ou en voie de sénescence. Notre échantillon de parcelles paysannes n'est donc peu représentatif de l'ensemble des situations où cocotiers et cacaoyers sont associés sur les parcelles paysannes. La densité moyenne calculée de 209 plants de cacaoyers.ha⁻¹, pour un maximum de 1050 cacaoyers.ha⁻¹ au sein de notre échantillon de parcelles de cocotiers n'a donc que peu de sens pour comparer la densité des cacaoyers sur les parcelles paysannes de cocotiers par rapport aux recommandations des services de vulgarisation (à savoir 1111 plants de cacaoyers.ha⁻¹ associés à 143 cocotiers.ha⁻¹).

II-3-2-3) Répartition horizontale et verticale de la végétation

La répartition horizontale des cocotiers et des cacaoyers est régulière ou altérée avec le temps. Le plus souvent, les cocotiers ont été plantés en carré d'environ 7,7 m de côté (c.v = 14,5%), ce qui génère des dispositifs de plantation plus denses que ceux recommandés par les services de vulgarisation pour la plantation des cocotiers (dispositifs en triangle avec des distances de 9 m en tous sens). Caillon (travaux en cours) estime des écartements moyens de 6,7 m entre les cocotiers sur les parcelles de Vê tuboso à partir des densités relevées, qui correspondent en réalité à des dispositifs très hétérogènes (plus ou moins régulier).

Les services de vulgarisation recommandent de planter les cacaoyers avec des distances de 3 m en tous sens entre les plants. Sur les parcelles paysannes de notre échantillon, on observe une distance moyenne (sur l'ensemble des parcelles où cacaoyers et cocotiers sont associées) de 5,3 m en tous sens entre les cacaoyers plantés entre les lignes de cocotiers.

Les espèces ligneuses associées aux cocotiers ont le plus souvent une répartition horizontale de type aléatoire, avec quelques individus implantés sans motif apparent. Les espèces semi-pérennes sont regroupées en patchs situés sur les bordures de la parcelle ou dans des trouées entre les cocotiers, selon les exigences culturales de chaque espèce. Les ignames sauvages (*D. numularia*) sont, par exemple, souvent localisées à proximité de gros arbres sur lesquels les lianes trouvent un appui permettant leur développement, tandis que les papayers, espèces pionnières, poussent dans des zones de trouées bien éclairées, associés ou non à d'autres espèces.

Le profil de la végétation est constitué de 1 à 5 strates, en fonction du nombre et de l'architecture des différentes espèces ligneuses présentes sur la parcelle. Ce type de profil multistrate est caractéristique de la structure des jardins agroforestiers (Fernandes et Nair, 1986 ; Kumar et Nair, 2004). Dans ce profil, le cocotier est généralement dominant mais il peut aussi être dominé (par exemple, quand les cocotiers juvéniles sont plantés avant défriche de la jachère arborée).

Des situations complexes, dans lesquelles les cocotiers sont à la fois dominés et dominants, ont également été décrites, par exemple lorsque des arbres forestiers constituant la strate dominante et des espèces semi-pérennes constituant la strate dominée sont associés aux cocotiers.

Les différents éléments de structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers sont très variables. Ils sont ensuite regroupés et combinés pour réaliser une typologie des parcelles paysannes, qui replacée dans une perspective temporelle avec l'histoire culturelle des parcelles permettra d'identifier les systèmes de culture paysans et leurs dynamiques temporelles.

II-3-3) Classification des parcelles en groupes structurels

Quatorze groupes structurels ont progressivement été identifiés en classifiant les 190 parcelles paysannes de cocotiers qui composent notre échantillon selon le type de structure de la végétation (figure 12). Les propositions théoriques de Schütz (présentées p 34) permettent alors de rattacher chaque groupe à un type d'interaction agroécologique qui déterminerait le développement de la végétation. Les caractéristiques de chaque groupe sont récapitulées dans le tableau 2.

Quatre groupes structurels ont été ajoutés à cette classification pour représenter la structure de la végétation retrouvée dans les situations correspondant à la culture du cocotier en grandes plantations. Dans ces situations, le cocotier est cultivé en monoculture parfois associée à des pâturages (groupes I_{0A} ou I_{0B} selon que la répartition horizontale des cocotiers est régulière ou altérée) ou à des cacaoyers (II_{0A} , II_{0B} ; selon le type de répartition horizontale des cocotiers : figure 12). Par opposition les parcelles paysannes de cocotiers de notre échantillon se caractérisent par une grande diversité d'espèces cultivées.

Sur les parcelles de notre échantillon, on peut trouver une ou deux espèces majeures lorsque le cocotier est associé à un peuplement régulier de cacaoyers. Dans les deux cas, les types de structures de végétation décrits sont comparables.

Les parcelles peuvent présenter un profil vertical mono ou multi-strate. Lorsque le profil est uni strate, la hauteur de la végétation permet de distinguer les « jardins vivriers de type ouvert complantés de cocotiers juvéniles » (groupe structurel I_2 , avec une strate s'élevant à moins de 5m) des situations où « des espèces ligneuses associées à des cocotiers productifs » forment une strate située au dessus de 5 m. Le motif de plantation des cocotiers est alors régulier (groupe I_{1A}) ou altéré (I_{1B}). Dans ces groupes, des bovins sont fréquemment présents sur les parcelles pour y pâturer le couvert herbacé spontané.

Les trouées générées par la mortalité des cocotiers peuvent alors être utilisées ainsi que les bordures de la parcelle pour implanter des « espèces semi-pérennes dominées par les cocotiers » (groupe I_{1C}), « une nouvelle génération de cocotiers dominée par la première génération » (groupe I_{4A}), ou bien « des espèces semi pérennes et une nouvelle génération de cocotiers dominée par la génération précédente » (I_{4B}). Dans ces trois groupes (I_{1C} , I_{4A} , I_{4B}) les cocotiers sont dominants, en revanche ils sont dominés dans le groupe I_{3A} (cocotiers juvéniles plantés dans jardins forêt) et à la fois dominés et dominants dans le groupe I_{3B} (agroforêt à base de cocotiers).

De la même manière, lorsque le cacaoyer constitue une seconde espèce majeure sur les parcelles paysannes on identifie différents groupes structurels :

- les « jardins ouverts complantés de cocotiers et cacaoyers juvéniles (II_2) » ne présentant pas de différenciation verticale du profil et relativement comparable au groupe I_2 ,
- les groupes avec un profil composé de deux strates (strate cocotier et strate cacaoyer) et un motif de plantation des cocotiers et des cacaoyers régulier (II_{1A}) ou altéré (II_{1B}),
- le groupe II_{1C} où l'altération des motifs de plantation permet de cultiver des espèces semi-pérennes,
- les groupes où les cocotiers et les cacaoyers sont dominés par d'autres espèces ligneuses (II_{3A}) ou sont à la fois dominés et dominants (II_{3B}).

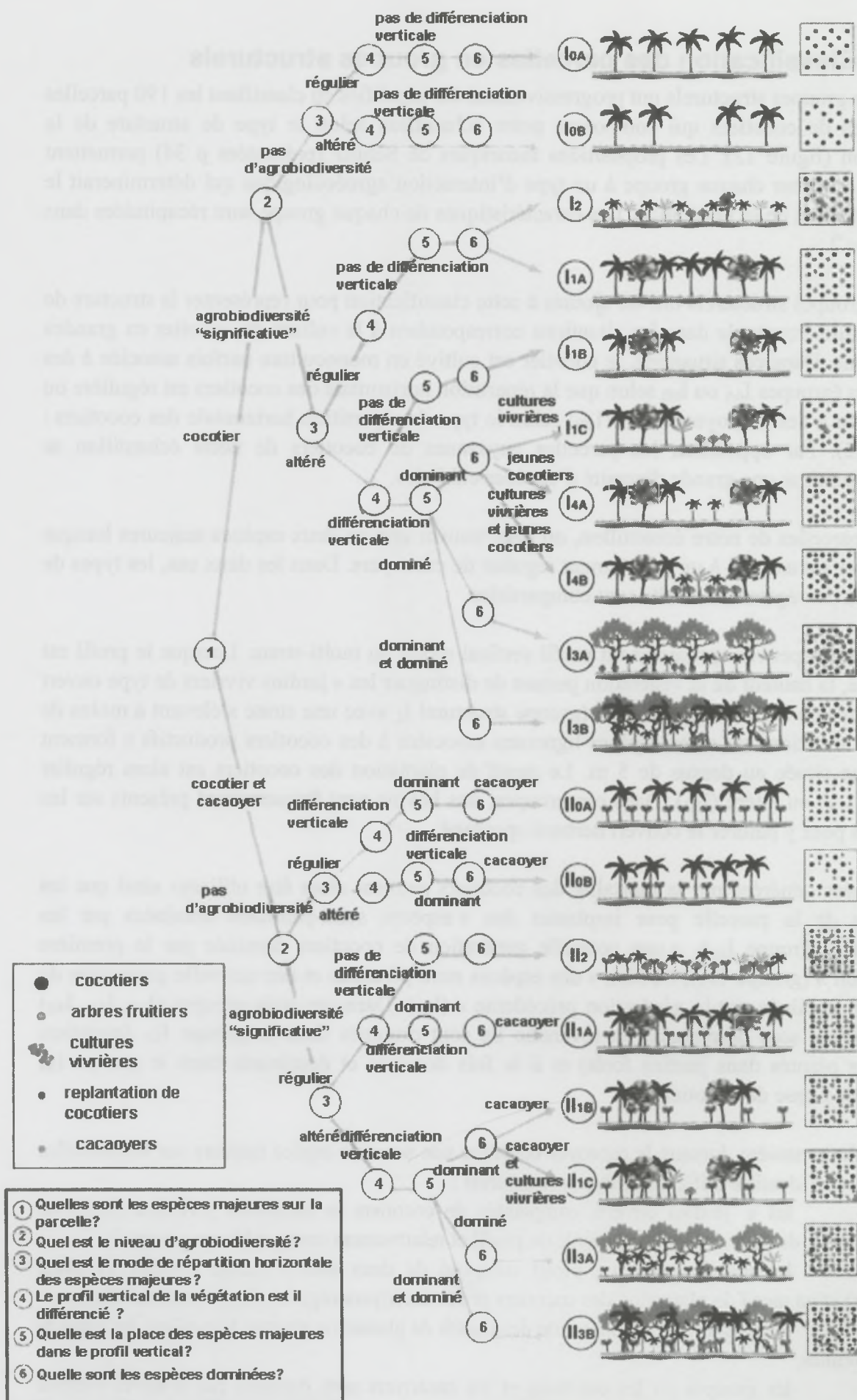


Figure 12 : Classification des parcelles de cocotiers en groupes structurels

Les groupes structurels présentant un profil non différencié (une seule strate ; I_{1A}, I_{1B}, I₂, II₂) sont rattachés au modèle horizontal de Schütz dans lequel les compétitions pour l'espace au niveau des houppiers et des systèmes racinaires détermineraient le développement de la végétation. En revanche, les groupes structurels où le profil de la végétation est différencié (I_{1C}, I_{4A}, I_{4B}, I_{3A} et I_{3B}, II_{1A}, II_{1B}, II_{1C}, II_{3A} et II_{3B}) sont rattachés au modèle vertical de Schütz dans lequel les compétitions pour la lumière seraient déterminantes (tableau 2).

Tableau 2: Caractéristiques des différents groupes structurels

Groupe Structurel	Nombre de parcelles décrites	Nombre d'espèces ligneuses	Nombre d'espèces semi-pérennes	Valeur de l'indice de Shannon Weaver	Densité des cocotiers (nombre par ha)	Densité des cacaoyers (nombre par ha)	Densité des espèces ligneuses (cocotier et cacaoyers exclues)	Type de mélange & Facteur de compétition déterminant (d'après Schütz, 1997)
I1A	22	13	1	1,13	165	0	81	mélange horizontal : compétition latérale (houppiers et racines) pour eau, nutriments
I1B	41	12	0	1,35	126	1	120	
I1C	19	15	5	2,01	107	5	244	mélange vertical avec strate inférieure subordonnée: compétition pour lumière
I2	15	9	5	1,66	218	11	129	mélange horizontal : compétition latérale (houppiers et racines) pour eau, nutriments
I3A	17	9	7	1,58	210	3	206	
I3B	10	7	1	1,36	332	0	1017	mélange vertical : compétition pour lumière
I4A	4	13	2	1,31	240	0	108	mélange vertical avec strate inférieure subordonnée: compétition pour lumière
I4B	4	14	8	1,86	198	1	60	
II1A	6	15	2	1,44	144	280	167	mélange vertical avec strate inférieure subordonnée: compétition pour lumière
II1B	5	17	1	1,49	150	128	51	
II1C	12	17	5	2,03	134	249	172	mélange horizontal : compétition latérale (houppiers et racines) pour eau, nutriments
II2	8	15	3	1,62	197	125	198	
II3A	14	11	6	1,74	131	332	341	mélange vertical : compétition pour lumière
II3B	11	14	5	1,92	150	173	366	

II-3-4) Les dynamiques temporelles des systèmes de culture à base de cocotiers

II-3-4-I) Identification des systèmes de culture

Toutes les parcelles précédemment décrites et classifiées sont positionnées dans la matrice des situations culturelles, en fonction de leur groupe structurel et du stade de développement des cocotiers sur la parcelle (figure 13).

Différents groupes structurels peuvent être reportés pour un même stade de développement des cocotiers. Les cocotiers productifs peuvent par exemple être classés dans 9 groupes structurels différents (figure 13), illustrant ainsi la forte variabilité de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes.

Certains groupes structurels sont, par ailleurs, spécifiquement liés à un stade de développement des cocotiers ; par exemple, les groupes I_{4A} et I_{4B} correspondant à la replantation d'une nouvelle génération de cocotiers se retrouvent uniquement lorsque la première génération atteint le stade sénescence, les groupes structurels correspondant à des jardins vivriers (I₂ et II₂, I_{3A} et II_{3A}) se retrouvent exclusivement au stade juvénile des cocotiers. Tous les groupes ne sont pas spécifiquement liés à un stade de développement des cocotiers, certains sont retrouvés pour une large période comme les groupes I_{1B}, II_{1B}, I_{3B} et II_{3B} décrits de l'entrée en production à la phase de sénescence des cocotiers (figure 13).

Les cases de la matrice sont reliées entre-elles par l'histoire culturelle des parcelles de l'échantillon (exprimée en terme de succession de structure de la végétation au cours du développement des cocotiers). Cinq trajectoires principales et leurs situations clés sont ainsi identifiées. Les situations clés sont des situations à l'origine de plusieurs trajectoires (figure 13) telles que celles rencontrées au stade juvénile (I_{3A} , I_2 , II_{3A} et II_2) et au début du stade de sénescence des cocotiers lorsque des trouées apparaissent dans le motif de plantation des cocotiers (I_{1B} et II_{1B}).

Au final, toutes les cases de la matrice ne sont pas occupées. Ces cases vides peuvent correspondre à des situations impossibles pour des raisons agronomiques dans l'état actuel des techniques de cultures locales (par exemple on ne trouve pas de bétail associés aux jeunes cocotiers, parce que sinon les cocotiers seraient endommagés par les bovins à moins d'envisager de coûteuses protections) ou bien à des situations qui pourraient exister mais qui n'ont pas été observées sur le terrain (par exemple, l'association de cultures vivrières lorsque les cocotiers sont en pleine production). Ces situations potentiellement réalisables pourraient constituer des situations intéressantes pour faire évoluer les systèmes de culture.

Matrice des situations culturelles



Illustration CIRAD : N. Lamanda & M. Duportal

Figure 13: Matrice des situations culturelles sur les parcelles de cocotiers de l'île de Malo

II-3-4-2) Dynamique de la structure de la végétation

Cinq systèmes de culture à base de cocotiers ont été identifiés sur l'île de Malo (figure 13), pour chacun l'évolution de la structure de la végétation au cours du temps a été mise en évidence (figure 14).

Système de culture I : agropastoral (figure 14)

Les cocotiers et des espèces fruitières sont implantés en association avec un jardin vivrier dans le bush (forêt secondaire) ou dans une jachère arborée (jardins de type fermé I_{3A}). La défriche progressive et sélective de la jachère transforme la situation précédente en un jardin vivrier de type ouvert complanté de cocotiers juvéniles (I₂). Dans certains cas, les cocotiers sont directement implantés dans une zone ouverte entièrement défrichée par brûlis et toujours associés à un jardin vivrier sur les parcelles paysannes. Après 2 à 3 années, le jardin vivrier est progressivement abandonné.

Lorsque les cocotiers entrent en production, environ 7 ans après leur plantation et après l'ouverture de la canopée, la strate formée par les cocotiers et les arbres fruitiers est assez haute pour que des bovins soient introduits sur la parcelle (I_{1A}). Les bovins pâturent alors les résidus de jardins vivriers puis la couverture herbacée spontanée du sol. La parcelle est alors essentiellement dédiée à la production de coprah (les différents usages du peuplement seront étudiés plus en détail dans le chapitre III).

Avec le temps, des trouées apparaissent dans le motif de plantation des cocotiers (I_{1B}). Les bovins peuvent être maintenus sur la parcelle jusqu'à la sénescence des cocotiers⁸.

Des espèces alimentaires semi-pérennes comme des bananiers ou des macabos peuvent être implantées dans les trouées ou bien en bordure des parcelles où les cocotiers sont sénescents. Si les bovins sont maintenus sur la parcelle, les zones de culture des espèces semi-pérennes doivent être protégées (par exemple par une clôture en bambou ou en conduisant les bovins à la corde), mais en général les bovins ne sont pas maintenus sur les parcelles lorsque des espèces alimentaires y sont réintroduites. Une nouvelle génération de cocotiers peut également être implantée lorsque la génération précédente entre en sénescence ; les replantations sont alors réalisées à très haute densité (avec un espacement d'environ 4,5 m entre les jeunes cocotiers) (I_{4A}) et parfois les cocotiers sont associés à des espèces alimentaires (I_{4B}).

Système de culture II : agroforêt à cocotiers (figure 14)

Après la plantation des cocotiers dans le « bush » ou dans une jachère arborée, il n'y a pas ou peu de défriche et la situation évolue en une situation où les cocotiers sont à la fois dominés et dominants (agroforêt à cocotiers : I_{3B}). Plusieurs générations de cocotiers peuvent spontanément apparaître suite à la germination des noix de cocotiers qui ne sont pas récoltées. Cette situation peut perdurer tout au long du cycle des cocotiers ou progressivement apparaître si les parcelles en production ne sont pas entretenues.

⁸ La composition du couvert herbacée spontané évolue au cours du temps, avec l'augmentation de la transmission de la lumière sous le couvert résultant du vieillissement des cocotiers. La qualité nutritive du couvert herbacé s'améliorerait avec l'âge des cocotiers

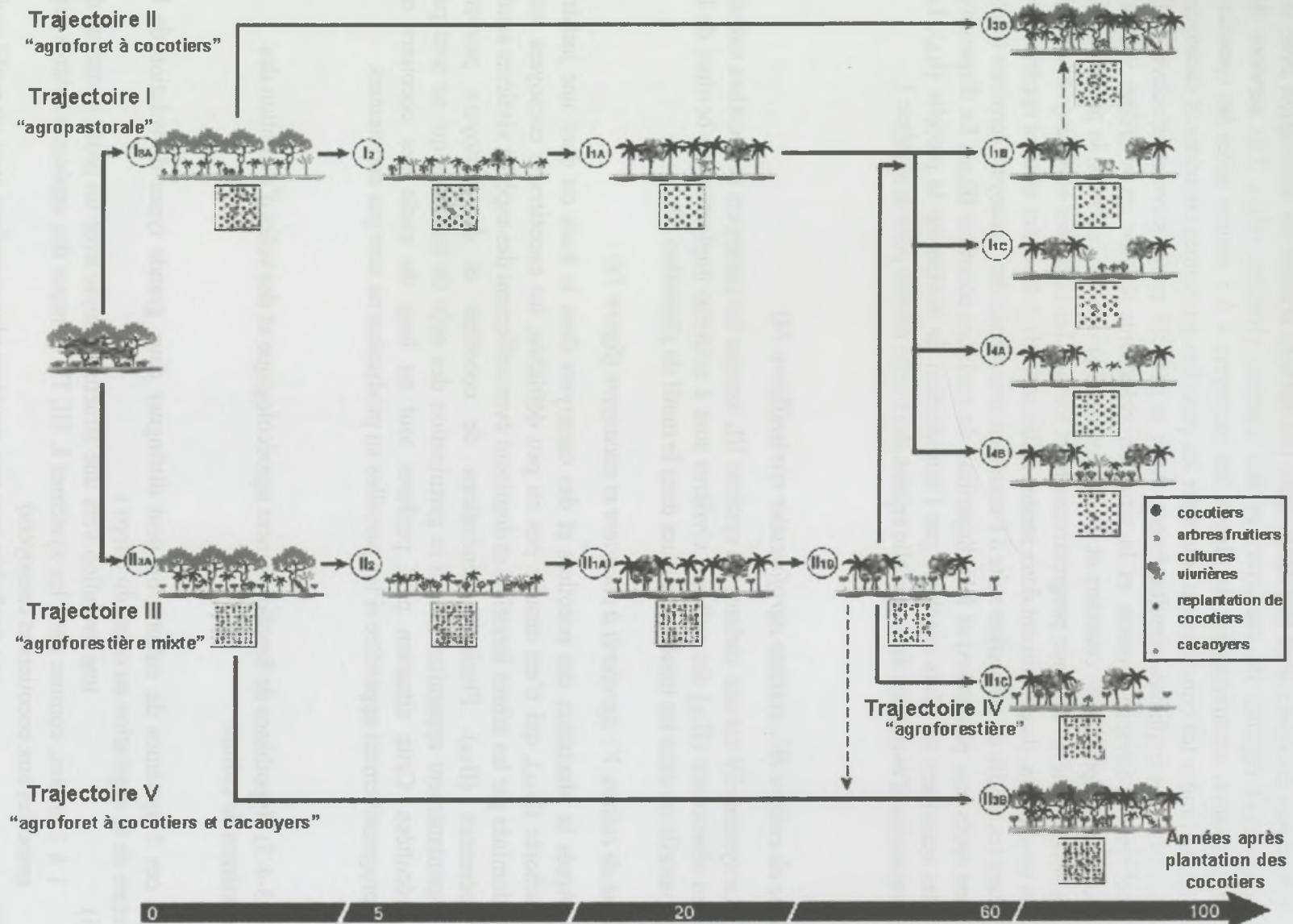


Illustration CIRAD : N. Lamanda & M. Duportal

Figure 14 : Évolution de la structure de la végétation au cours du développement des cocotiers pour les 5 systèmes de culture identifiés sur l'île de Malo

Système de culture III : agroforestier mixte (figure 14)

Les jeunes cocotiers sont implantés dans une jachère arborée en association avec un peuplement régulier de cacaoyers et des espèces vivrières (II_{3A}). Les services de vulgarisation recommandent de planter les cacaoyers 4 à 5 années après les cocotiers afin de limiter les compétitions, mais sur les parcelles paysannes cocotiers et cacaoyers sont souvent implantés simultanément. Avec la défriche progressive et sélective de la jachère, la canopée s'ouvre et la situation précédente évolue en « jardins vivriers ouverts complantés de cocotiers et de cacaoyers (II₂) ». Avec le temps, la présence des espèces vivrières diminue progressivement et lorsque les cocotiers et cacaoyers entrent en production, ils constituent deux strates distinctes. (II_{1A}). Puis des trouées apparaissent dans les motifs de plantation suite à l'entrée en sénescence des cacaoyers (environ trente ans après leur plantation) et à la disparition de quelques cocotiers (II_{1B}). La disparition des cacaoyers est alors accélérée par l'introduction de bovins sur la parcelle (I_{1B}). La trajectoire d'évolution de la parcelle rejoint alors celle décrite pour le système I.

Système de culture IV : système agroforestier vivrier (figure 14)

Le système IV est une variante du système III, lorsque les cacaoyers et cocotiers entrent en sénescence (II_{1B}) des cultures vivrières sont à nouveau implantées en bordure de la parcelle ou dans les trouées apparues dans le motif de plantation (II_{1C}).

Système de culture V : agroforêt à cocotiers et cacaoyers (figure 14)

Après la plantation des cocotiers et des cacaoyers dans le bush ou dans une jachère arborée (II_{3A}), qui n'est ensuite pas ou peu défrichée, les cocotiers et cacaoyers sont dominés par les arbres forestiers et dominant éventuellement des espèces vivrières semi-pérennes (II_{3B}). Plusieurs générations de cocotiers et de cacaoyers peuvent spontanément apparaître suite à la germination des noix de cocotiers qui ne sont pas récoltées. Cette situation peut perdurer tout au long du cycle des cocotiers ou progressivement apparaître si les parcelles en production ne sont pas entretenues.

II-3-4-3) Hypothèses de fonctionnement agroécologique et des voies d'évolution des systèmes de culture

Parmi ces 5 systèmes de culture, on peut distinguer deux grands types d'évolution de la structure de la végétation au cours du temps ;

- (i) une évolution vers une structure simple avec un profil constitué de 1 à 3 strates, comme dans les systèmes I, III, IV (lorsque des espèces vivrières sont associées aux cocotiers et cacaoyers)
- (ii) une évolution vers une structure plus complexe avec un profil multi stratifié comme dans les systèmes II et V.

Dans les systèmes I, III et IV, lorsque la végétation présente un profil multi-strate, les compétitions latérales au niveau des houppiers et des systèmes racinaires pour l'espace et l'utilisation des ressources seraient déterminantes pour le développement et la production des

différentes espèces. En revanche, dans les situations où des espèces vivrières ou des cacaoyers sont associées aux cocotiers (profil multi-strate), le développement des strates dominées dépendrait essentiellement des compétitions pour la lumière.

Ainsi, dans les systèmes I, III et IV, le facteur lumière limiterait le développement des cocotiers au stade juvénile et des espèces vivrières. Puis lorsque les cocotiers sont productifs et sénescents et constituent la strate dominante, les compétitions latérales limiteraient le développement et/ou la production de la strate dominante, et les compétitions pour la lumière limiteraient le développement des strates dominées

Dans le système IV et V, en revanche, la lumière serait le principal facteur déterminant le développement et la production de la végétation, avec des niveaux de compétition pour la lumière variant au cours du développement des cocotiers. Dans ces systèmes, quel que soit le stade de développement des cocotiers, la croissance et la production des espèces dominées par les arbres forestiers seraient régulées par la lumière.

Ces deux grands types de trajectoires correspondent également à différentes voies d'évolution de la végétation à long terme. Dans les premiers systèmes (I, III, IV), l'implantation d'une nouvelle génération de cocotiers environ 60 années après la plantation de la première génération conduirait à une occupation permanente de l'espace cultivé par la cocoteraie. Lorsque la cocoteraie n'est pas replantée, l'espace pourrait être progressivement « re-colonisé » par des cultures vivrières, installées en bordure des parcelles et dans les trouées (situations I_{1C}). Dans les systèmes II et V, la jachère complantée de cocotiers et éventuellement de cacaoyers évolue en un système multi-stratifié dans lequel les différentes générations de cocotiers sont dominées et disparaissent progressivement. Ces systèmes constitueraient une jachère arborée qui, selon l'impact de la culture des cocotiers sur les états du milieu et la durée de cette jachère, permettrait de régénérer puis de cultiver à nouveau l'espace occupé.

Après avoir caractérisé les systèmes de culture à base de cocotiers, dans les pages qui suivent on cherche à évaluer les performances et la dynamiques des états du milieu de ces systèmes.

Chapitre III : Evaluation agroécologique des systèmes de culture à base de cocotiers

Le chapitre III qui correspond à l'évaluation agroécologique des systèmes de culture paysans est composé de trois parties de longueurs inégales. Dans une première partie sont présentés les concepts et hypothèses mobilisés pour construire des chronoséquences représentant les principales trajectoires précédemment caractérisées. Dans une seconde partie, on propose une démarche pour évaluer les usages et les performances des parcelles paysannes, en s'intéressant plus particulièrement à la production en coprah et son évolution au cours du développement des cocotiers sur ces parcelles. Dans une troisième partie, on caractérise les dynamiques des états du milieu jugés *a priori* déterminant du fonctionnement agroécologique de ces systèmes : bilan radiatif, encombrement racinaire et dynamiques des matières organiques du sol.

III-1) Construction du réseau de parcelles : les chronoséquences

Les systèmes de culture à base de cocotiers se caractérisent par des évolutions à long terme (les cocotiers sont productifs pendant plus de 50 années) qu'il est impossible, dans le cadre de la thèse, d'étudier par un suivi au cours du temps. L'approche synchronique, qui utilise la diversité des stades de développement des cocotiers dans la zone d'étude pour reconstituer le développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture (chronoséquences), a constitué une alternative pour étudier ces systèmes et leurs dynamiques.

Cette approche est fréquente en écologie, où l'on parle de démarche du type : « space for time substitution », *i.e.* on extrapole une dynamique temporelle à partir d'une série d'échantillons représentant différents âges du système considéré (Pickett, 1991). Cette approche a notamment été utilisée pour étudier les changements des caractéristiques du sol (Sanchez *et al.*, 1985), et Huxley (1999) souligne son intérêt pour étudier les systèmes agroforestiers. Ce type d'approche nécessite toutefois de faire l'hypothèse que le temps est le seul facteur de variation d'une parcelle à l'autre, *i.e.* toutes choses (l'histoire des parcelles, le milieu, etc...) pouvant par ailleurs être considérées comme égales. La validité de cette hypothèse doit être vérifiée pour pouvoir reconstituer une dynamique temporelle à partir de la comparaison de différentes parcelles. Pour que la comparaison de parcelles de cocotiers à différents stades de développement ait un sens, c'est à dire qu'elle permette de reconstituer une dynamique au cours du temps, il faut donc s'assurer que (i) les pratiques des exploitants n'ont pas évolué sur la période de temps considérée et que (ii) les parcelles que l'on compare sont situées dans le même milieu agroécologique.

(i) La constance des pratiques semble une hypothèse plausible dans la mesure où les pratiques paysannes pour la culture du cocotier ont peu évolué au cours du processus d'implantation de la cocoteraie paysanne sur Malo (du début du siècle à aujourd'hui).

Les cocotiers cultivés sur les parcelles paysannes appartiennent à la population locale de cocotiers (Grand du Vanuatu). Encore actuellement, les agriculteurs n'ont recours ni aux

intrants ni à la mécanisation. Il ne semble, par ailleurs, pas y avoir eu de transfert de fertilité notable entre les parcelles de cocotiers au cours de cette période⁹.

Les cocotiers cultivés sur les parcelles paysannes de Malo sont essentiellement des cocotiers locaux (et dans cette étude on n'a pas retenu de parcelles plantées de cocotiers hybrides). La population de cocotiers locaux du Vanuatu présente une grande variabilité génétique et une structuration Nord-Sud peut être observée sur l'ensemble de l'archipel (Caillon, travaux en cours). Dans une île comme Malo, où les planteurs, ayant suffisamment de matériel de propagation disponible pour créer leurs parcelles, n'auraient eu que peu recours à du matériel venant de l'extérieur, on peut admettre que le patrimoine de Malo a peu évolué depuis que les cocotiers sont cultivés en parcelles essentiellement destinées à la production de coprah (Caillon, soumis).

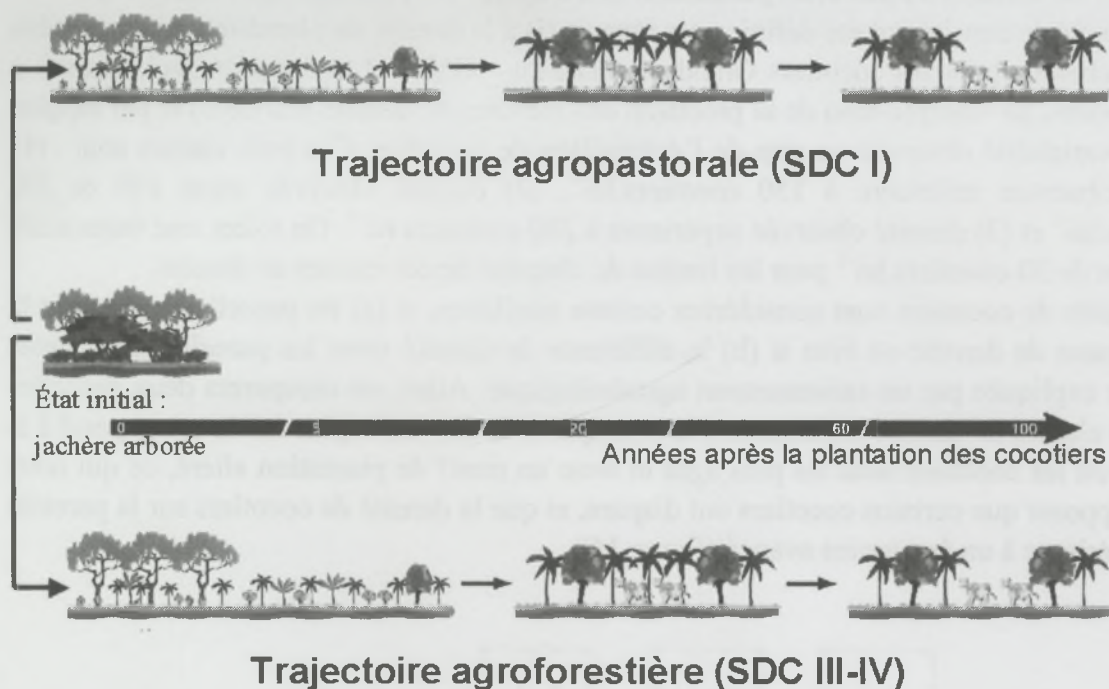
Dans cette étude, on considère donc que les populations de cocotiers locaux cultivées sur les différentes parcelles de Malo sont génétiquement comparables¹⁰ et au-delà que les techniques sont stables.

- (ii) Dans la zone Centre-Est de Malo, on dispose à la fois de conditions agroécologiques homogènes (et en particulier de sol) et comparables avec celles de la station de recherche et d'une dynamique de plantation des cocotiers commencée il y a une cinquantaine d'années et se poursuivant actuellement (en direction du Nord-Est de l'île), ce qui nous donne accès à l'essentiel du cycle de culture des cocotiers. Dans la zone Ouest, les sols sont beaucoup plus hétérogènes et on ne dispose pas des stades initiaux des parcelles de cocotiers.

Se plaçant dans la zone Centre-Est, il apparaît alors possible de constituer des chronoséquences qui représentent l'essentiel du cycle de culture des cocotiers (*i.e.* environ 50 années après la plantation des cocotiers) dans les trajectoires agropastorale (SDC I) et agroforestière (SdC III-IV) précédemment caractérisées (figure 15). Ces trajectoires correspondent aux systèmes de culture les plus fréquemment mis en œuvre par les exploitants de Malo.

⁹ Données issues d'entretiens informels avec les exploitants de Malo.

¹⁰ On note cependant que la population de cocotiers du village de Vêtuboso sur l'île de Vanua Lava (Vanuatu) présente une structuration par plantation. Les ressemblances morphologiques entre les parcelles et dans une moindre mesure génétiques dépendent des liens de filiation entre planteurs (Caillon, travaux en cours).



Illustrations CIRAD: N. Lamanda & M. Duportal

Figure 15: Les trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SdC III-IV) retenues pour l'évaluation agroécologique des systèmes de culture à base de cocotier de l'île de Malo

La matrice des situations culturelles précédemment élaborée (chapitre II) permet de construire les chronoséquences de chacune de ces trajectoires. Pour chacune des cases de la matrice qui constitue une trajectoire, on dispose d'un ensemble de parcelles présentant une variabilité de structure de végétation. La construction des chronoséquences permettant de suivre l'évolution de la végétation au cours du développement des cocotiers dans les différentes trajectoires, passe par un choix cohérent de structure de végétation (et donc de parcelles) d'une case à l'autre de la trajectoire. Parmi les critères de structure de la végétation, la densité de cocotiers, facteur déterminant des niveaux de compétition intra et inter spécifique (entre cocotiers et entre espèces), apparaît comme donc comme un critère essentiel à maîtriser au sein de l'échantillon de parcelles constituant les chronoséquences¹¹. Or, parmi les parcelles représentant une même situation culturelle (ou une case de la matrice), il existe une importante variabilité de la densité de plantation en cocotiers. Il est donc nécessaire de s'assurer que les densités de cocotiers sont similaires pour comparer entre elles des parcelles situées dans des

¹¹ Les autres critères de structure de peuplement sont pris en compte dans la définition des groupes structurels et par conséquent dans les situations culturelles (ou cases de la matrice). La variabilité de certains de ces critères devra toutefois être considérée suivant le facteur étudié en comparant les parcelles de la chronoséquence. Par exemple, pour étudier le rayonnement sous le couvert, outre une densité des cocotiers comparable entre les parcelles de la chronoséquence, on s'assurera également que la densité de ligneux associés aux cocotiers est comparable d'une parcelle à l'autre.

cases différentes de la matrice. Une règle a été établie pour pouvoir décider si les densités observées sur différentes parcelles permettent de comparer ces parcelles entre elles.

Trois classes de densité ont été définies par rapport (i) à la densité de plantation recommandée par la recherche pour les cocotiers Grand du Vanuatu – GVT - 143 cocotiers.ha⁻¹, arrondi à 150 cocotiers.ha⁻¹ compte-tenu de la précision des mesures de densité réalisées) et par rapport (ii) à la variabilité observée au sein de l'échantillon de parcelles. Ces trois classes sont : (1) densité observée inférieure à 150 cocotiers.ha⁻¹, (2) densité observée entre 150 et 200 cocotiers.ha⁻¹ et (3) densité observée supérieure à 200 cocotiers.ha⁻¹. On tolère une incertitude de l'ordre de 30 cocotiers.ha⁻¹ pour les limites de chacune de ces classes de densité.

Les densités de cocotiers sont considérées comme similaires, si (a) les parcelles présentent la même classe de densité ou bien si (b) la différence de densité entre les parcelles comparées peut être expliquée par un raisonnement agroécologique. Ainsi, on comparera deux parcelles avec des classes de densité différentes. Par exemple si la densité la plus faible correspond à la parcelle où les cocotiers sont les plus âgés et avec un motif de plantation altéré, ce qui nous laisse supposer que certains cocotiers ont disparu, et que la densité de cocotiers sur la parcelle était supérieure à un âge moins avancé (figure 16).

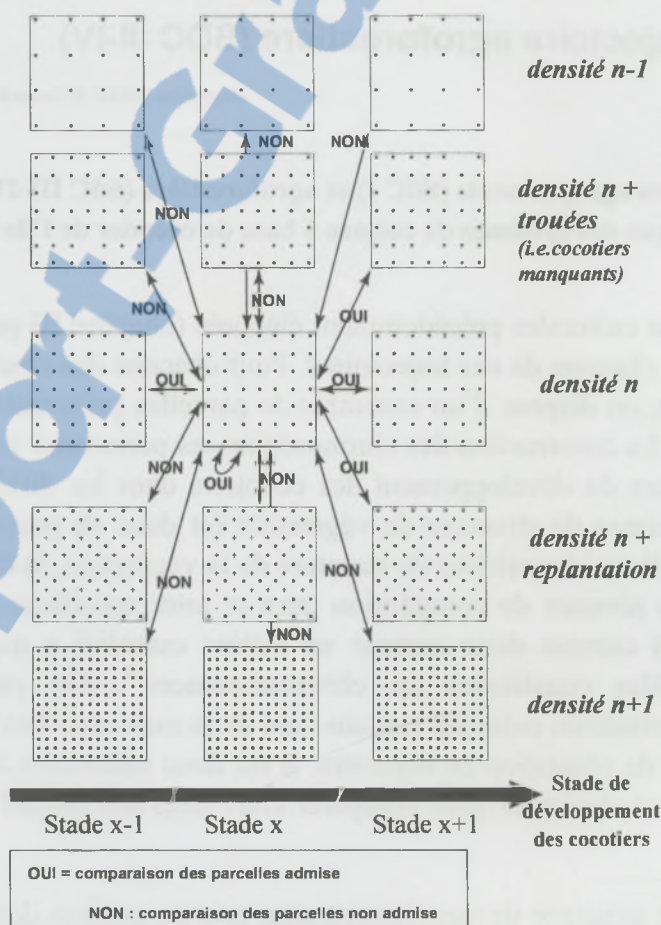


Figure 16 : Raisonnement permettant de décider si les densités des cocotiers observées sur deux parcelles peuvent être comparées ou pas.

Des chronoséquences composées respectivement de 56 et 19 parcelles ont ainsi été composées afin de représenter les trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SdC III-IV), sur lesquelles est ciblée l'évaluation agroécologique des systèmes de culture paysans (figure 15).

III-2) Evaluation des usages et performances des systèmes de culture

III-2-1) Objectifs et démarche proposée

Notre objectif est d'évaluer, après les avoir caractérisés, ce que produisent les systèmes de culture paysans à base de cocotiers. Le terme production est pris ici au sens du Larousse 2003, *c'est le fait de créer ou de transformer des biens ou des services*. Nous l'assimilerons ici aux sorties de matière des parcelles.

Sur les parcelles paysannes, où les cocotiers sont associés à des espèces de nature différente (ligneuses et herbacées), une estimation de la production limitée à l'évaluation de la production des cocotiers est insuffisante. Il apparaît, sur ces parcelles, indispensable de raisonner de manière globale sur l'ensemble du peuplement cultivé.

Idéalement il faudrait donc pouvoir évaluer la production de chacune des espèces du peuplement (avec une unité commune) pour, en combinant les estimations de production obtenue pour chacune de ces espèces, déterminer *in fine* la production globale du peuplement. Mais le peuplement des parcelles paysannes de cocotiers fait intervenir un nombre important d'espèces (entre 4 et 40 espèces par parcelle) et le niveau de connaissance mobilisable pour évaluer la production de ces différentes espèces est extrêmement variable d'une espèce à l'autre. Pour certaines espèces ayant fait l'objet de recherches agronomiques il existe une abondante littérature (comme le cocotier ou le cacaoyer pour les cultures pérennes, les ignames ou les macabos pour les espèces semi-pérennes), tandis que pour d'autres, comme les espèces ligneuses locales qui ne sont parfois pas ou peu connues, on ne dispose d'aucune référence concernant leurs productions respectives. Il est même parfois difficile d'identifier ces espèces et leur production. Leurs productions peuvent en effet correspondre à des organes de type très varié (fruits, tubercules, feuilles, bois, sève, etc.) ainsi qu'à des dynamiques temporelles variées (de la saison à plusieurs années selon la plante et l'organe considéré) qui sont difficiles à combiner. Différents organes d'une même espèce peuvent constituer une production de la parcelle (par exemple, l'albumen de la noix de coco pour la production de coprah et les palmes de cocotiers utilisées pour confectionner des paniers permettant de transporter les produits vivriers jusqu'au marché local). L'optimum atteint sur un organe ne correspond, par ailleurs, pas forcément à l'optimum sur un autre organe et ne permet pas de juger la production globale de l'espèce.

Les productions peuvent, de plus, être régulières (comme par exemple celle des palmes et des noix de cocotier qui arrivent à maturité chaque mois et ce pendant toute la période de production) ou irrégulières (par exemple pour les bananiers, les haricots). Comment dans ces conditions appréhender la production des parcelles où sont associées des espèces de natures différentes comme le peuplement des parcelles paysannes de cocotiers ?

Rao et Coe (1991) soulignent le fait qu'il n'existe dans la littérature que peu d'informations quantifiées sur lesquelles s'appuyer pour construire des méthodes d'évaluation du rendement des systèmes agroforestiers. Sur une centaine de rapports concernant des projets étudiant les systèmes agroforestiers, à peine une douzaine mentionneraient les méthodes employées. Les mesures de rendement que l'on trouve dans ces études semblent de plus peu réalistes, soit parce que les surfaces de mesure ne permettent pas de représenter la parcelle dans sa globalité, soit parce que les rendements sont estimés pour quelques individus puis généralisés

à l'ensemble du système sans prendre en compte la très forte variabilité spatiale qui caractérise ces systèmes (Rao et Coe, 1991). Une autre difficulté est la présence significative d'espèces multi-usages (le plus souvent ligneuses) dans ces systèmes. Comment rendre compte des différents usages de ces espèces ? Comment quantifier la production de ces espèces ? Quels sont les moyens d'expression (unité de calcul) de ces productions qui ont un sens aussi pour les différentes espèces, voir « idéalement » pour l'ensemble du peuplement ?

Les différents usages des espèces cultivées dans les systèmes agroforestiers sont souvent recensés à partir d'enquêtes auprès des exploitants. Les inventaires des utilisations locales des espèces cultivées dans les systèmes agroforestiers ainsi obtenus, sont parfois compilés au niveau régional, national et international afin de disposer d'un pool d'informations sur les usages et écologie des différentes espèces¹². On ne dispose toutefois que de très peu de données quantifiées sur leur productivité. Les essais pour évaluer la productivité de ces espèces sont en général coûteux, et nécessitent notamment un investissement sur le long terme souvent difficile à garantir. Ces essais en milieu contrôlé (station de recherche) sont importants pour fournir des références sur la croissance et la productivité des différentes espèces. Ces essais sont cependant d'un intérêt limité pour comprendre comment sont utilisées ces espèces et ce qu'elles produisent dans les conditions paysannes.

Depuis les années 1980, de nombreux auteurs ont insisté sur l'importance des recherches « on-farm » (en milieu paysan ou milieu réel) pour comprendre et évaluer les systèmes de culture (Sebillotte, 1974, Jouve, 1992; Mondain Monval, 1993). Cette approche apparaît particulièrement pertinente pour étudier les systèmes agroforestiers (Raintree, 1989 ; Sherr, 1991; Huxley, 1999). Kumar et Nair (2004) soulignent par ailleurs la nécessité d'adapter les méthodes de recherche pour mettre en évidence le fonctionnement agroécologique et les déterminants de la durabilité des systèmes agroforestiers multi-strate.

Pour exprimer la production d'un système agroforestier, il faut combiner les différentes dynamiques de production et les produits en résultant en une quantité globale produite par unité de temps et de surface. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir identifier et quantifier les différentes productions du système. On utilise en général des valeurs de biomasse ou des valeurs monétaires pour quantifier la production agricole (Huxley, 1999). Or, l'attribution d'une valeur monétaire à des produits qui ne sont ni commercialisés ni parfois même commercialisables n'est pas aisée. L'utilisation de la biomasse comme indicateur de production est fréquemment biaisée car souvent seule la biomasse aérienne (voir la biomasse récoltée) est estimée or celle-ci ne représente qu'une partie de la biomasse produite. Quantifier l'ensemble de la biomasse produite par ces systèmes est d'ailleurs très difficile, car impliquerait des mesures destructives de la végétation, incompatibles d'une part avec la production continue de ces systèmes et d'autre part avec l'éthique d'une recherche en milieu paysan.

¹² Une partie de ces informations sont accessibles gratuitement en ligne ; voir par exemple : Agroforestry Guides for Pacific Islands : <http://www.agroforestry.net/afg/book.html> ; ou des bases de données comme celles proposées par l'ICRAF ou le réseau agroforestry.net, etc... <http://www.ciesin.org/ICRAF/mpisdata.html> <http://www.agroforestry.net/ti/index.html>

Une des possibilités pour évaluer la productivité de parcelles où différentes cultures sont associées repose sur le calcul d'indices basés sur la comparaison des rendements des espèces en association par rapport à leur rendement en peuplement monospécifique. Le Land Equivalent Ratio (LER) est l'indice le plus couramment employé pour évaluer l'efficacité d'une association de culture (Vandermer, 1989). Cet indice permet de calculer la surface de sol en monoculture qui serait nécessaire pour obtenir la même production (en volume ou en valeur) que l'association de culture considérée. Cet indice s'exprime sous la forme d'un rapport qui, s'il est supérieur à 1, signifie que la culture X est plus productive en association qu'en monoculture. Il existe une série d'indices¹³ dérivés permettant de mieux prendre en compte la surface et le temps de culture de chaque espèce (ATER : Area Time Equivalent Ratio, Hiebsch et McCollum, 1987) ou de représenter le nombre total de récoltes pouvant être obtenues pendant la période où les cultures sont associées (AHER : Area Harvest Equivalent Ratio, Balasubramanian and Sekayange, 1991). Ces indices ont été employés essentiellement pour caractériser la productivité de « techniques agroforestières en disposition linéaire » (alley cropping). Mais, on ne trouve pas dans la littérature d'estimation de la productivité de systèmes agroforestiers multistrate à partir d'indices de ce type (Torquebiau, 1992). Une des raisons pourrait être l'importante collection de données nécessaires au calcul de ces indices. Il est en effet nécessaire pour calculer ces indices de disposer des références de production en peuplement monospécifique à densité optimale pour chaque espèce cultivée dans le système considéré. Dans le cas des parcelles de cocotiers, associant jusqu'à 40 espèces de nature différente et pour une grande partie desquelles on ne dispose d'aucune référence, ce type de calcul est inenvisageable. Le calcul de ces indices n'a d'ailleurs que peu de sens ; un grand nombre des espèces associées aux cocotiers sur ces parcelles ne sont jamais cultivées en peuplement monospécifique.

La production des parcelles paysannes présente une telle diversité de produits que parler de rendement n'a finalement que peu de sens. Le rendement de la parcelle ou plus souvent celui d'une partie du peuplement constitue toutefois une base pour comparer des parcelles différentes ou bien la production d'une même parcelle à différents moments. On lui préférera cependant la notion de « performance », dont l'estimation doit faire intervenir différents critères afin de rendre compte de la diversité de produits sur ces parcelles.

¹³ Différentes synthèses ont été réalisées sur l'utilisation de ces différents indices, dont notamment celle de Vandermer (1989).

- *Démarche proposée pour l'évaluation des performances des systèmes de culture à base de cocotiers*

Dans cette étude, on propose une démarche pour évaluer les performances des parcelles de cocotiers paysannes. Celle-ci est présentée dans l'encadré ci-dessous.

La démarche proposée pour évaluer les performances des parcelles de cocotiers paysannes repose sur les propositions suivantes ;

(a) la diversité de situation sur les parcelles de cocotiers permet de constituer des chronoséquences qui représentent les évolutions de la végétation et des états du milieu au cours du développement des cocotiers dans les différents systèmes de cultures

(b) la production d'une parcelle est égale à l'ensemble de la production de chacune des catégories d'espèces qui compose le peuplement de cette parcelle.

La démarche d'évaluation des performances est composée de 4 grandes étapes :

(1) identifier les différents usages du peuplement (*i.e.* identifier les différentes catégories d'espèces et leurs usages respectifs) afin d'appréhender le caractère multi-fonctionnel du peuplement

(2) quantifier la production des différentes catégories d'espèces précédemment identifiées et regroupées selon leurs natures et les capacités de diagnostic mobilisables

(3) estimer la production globale de la parcelle en compilant les estimations pour les productions des différentes catégories d'espèces

(4) comparer entre-elles les parcelles composant les chronoséquences pour *in fine* estimer la production des systèmes de culture et son évolution au cours du temps.

Au sein du peuplement des parcelles paysannes de cocotiers, on a distingué cinq catégories d'espèces selon leur nature et leur utilisation potentielle : (1) espèces majeures (cocotier et cacaoyer), (2) arbres fruitiers, (3) autres arbres, (4) espèces herbacées alimentaires et (5) autres espèces herbacées. Pour chacune de ces catégories d'espèces, on cherche à « définir ce qu'elles produisent » et à mettre en évidence les usages possibles de cette production. Ensuite, on cherche à quantifier la production de chacune des catégories d'espèces à partir d'indicateurs de production (quantitatif et qualitatif).

L'objectif est d'estimer la production globale de la parcelle et de la représenter sous forme de « tableau de bord » sur lequel s'appuyer comme base de discussion et de comparaison des situations entre-elles.

On propose ici de représenter la production de chaque catégorie d'espèces du peuplement des parcelles par un même graphique, afin d'illustrer le fait que la production globale de la parcelle est l'ensemble de la production des différentes catégories d'espèces composant le peuplement de cette parcelle (figure 17).

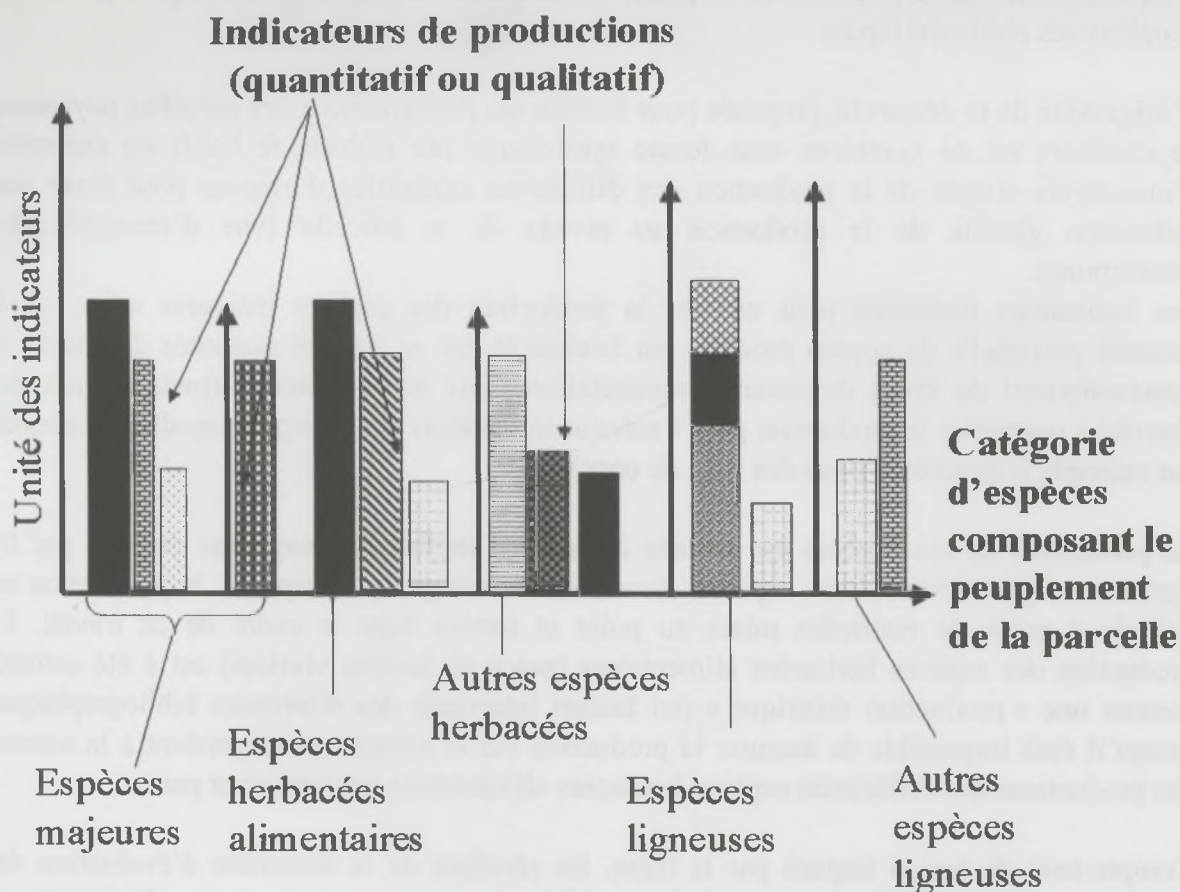


Figure 17 : Exemple théorique d'estimation de la production d'une parcelle paysanne.

Ce graphique a une valeur illustrative, il doit être lu comme une apposition des différentes productions et non pas comme une addition ni comme une comparaison de ces productions entre-elles, ce qui n'aurait pas de sens (on n'additionne, ni ne compare pas des productions différentes même si elles sont exprimées dans la même unité comme par exemple des kg de macabos avec des kg de coprah).

Dans le cadre de la thèse, on a réfléchi aux indicateurs qui pourraient être mobilisés pour estimer la production des différentes catégories d'espèces qui composent le peuplement des parcelles paysannes, sachant qu'en fonction des caractéristiques des espèces de chaque catégorie (pérennité, type de production, etc.) et des références disponibles, des méthodes et outils d'évaluation spécifiques devront être mobilisés pour chacune. Compte-tenu de l'ampleur du travail à réaliser pour quantifier les productions de ces différentes catégories d'espèces et du temps imparti par la thèse, on a fait le choix de se concentrer sur l'évaluation de la production des espèces majeures et celle des espèces herbacées alimentaires (patch de jardins vivriers). La production des espèces majeures correspond à la production des cocotiers, plante dominante du système étudié et éventuellement à la production des cacaoyers, lorsqu'ils sont présents en peuplement régulier sur la parcelle. On s'est ensuite préférentiellement intéressé à l'évaluation de la production des jardins vivriers, association de diverses espèces combinant des dynamiques de production différentes avec des pas de temps intermédiaires (de la saison à 2 ou trois années). Ils constituent à ce titre une catégorie

d'espèces intéressante pour mettre au point une démarche d'évaluation de la production des peuplements plurispécifiques.

L'originalité de la démarche proposée pour évaluer les performances des parcelles paysannes de cocotiers est de combiner sous forme synthétique (de tableau de bord) un ensemble d'indicateurs simple de la production des différentes catégories d'espèces pour avoir une estimation globale de la production au niveau de la parcelle (vue d'ensemble des productions).

Les indicateurs mobilisés pour estimer la production des espèces majeures sont : (i) la quantité potentielle de coprah produite par hectare et par an, (ii) les quantités de coprah et éventuellement de fèves de cacao commercialisées par les exploitants (mais on n'a pas cherché à quantifier la production pour l'autoconsommation ni des aspects qualitatifs comme par exemple la qualité de l'eau des noix de coco).

La production de ces espèces est estimée à partir de méthodes d'expertise établies par les agronomes spécialisés sur ces espèces. Pour d'autres catégories d'espèces, la production est estimée à partir de méthodes mises au point et testées dans le cadre de ce travail. La production des espèces herbacées alimentaires (patch de jardins vivriers) est a été estimée comme une « production théorique » (en faisant intervenir des références bibliographiques lorsqu'il était impossible de mesurer la production sur le terrain) correspondant à la somme des productions des différentes espèces herbacées alimentaires par hectare et par an.

Compte-tenu du temps imparti par la thèse, les résultats de la démarche d'évaluation des performances des parcelles paysannes de cocotiers ne seront présentés, à titre illustratif, que pour quelques parcelles correspondant à des situations tranchées.

Nous proposerons également des pistes pour élaborer des indicateurs simples permettant d'estimer la production du couvert naturel pâturé par les bovins et des espèces fruitières pour une estimation plus globale des performances des parcelles paysannes (chapitre IV). L'estimation des performances de ces parcelles contribuera *in fine* à la discussion sur la durabilité agroécologique et les voies d'évolution possibles de ces systèmes (chapitre IV).

III-2-2) Usages du peuplement dans les systèmes de culture

III-2-2-1) Introduction

L'objectif est d'identifier les différents usages du peuplement sur les parcelles paysannes et leur évolution au cours du temps dans les systèmes de culture.

Les différentes fonctions ou utilisations des espèces cultivées dans les systèmes agroforestiers sont souvent répertoriées à partir du savoir des populations locales (Nair, 1993, Clarke et Thaman, 1993, Elevitch et Wilkinson, 2000). D'une manière générale, on distingue trois grands types de fonctions : économique, écologique et sociale avec pour chacune de ces fonctions différents usages du peuplement (tableau 3)

Tableau 3 : fonctions et usages du peuplement classiquement décrits pour les systèmes agroforestiers

Fonctions Economique	production de fruit alimentation humaine ou/et animale production de fruits, bois, etc la commercialisation sur le marché local construction, et/ou combustible (cuisine, chauffage, etc..) réduction de l'érosion avec systèmes racinaire développé conservation de l'agrobiodiversité séquestration de carbone
Fonction écologique	haie brise vent, ombrage, etc... conservation des teneurs en matières organique et par conséquent d'un potentiel de fertilité du milieu capital patrimoine, valeur foncière
Fonction sociale	lien entre les gens pour transmission de savoir Travail collectif cadre de vie agréable

Le classement des usages du peuplement n'est cependant pas aisé car le même usage peut relever de différents types de fonction. Ainsi, par exemple la production de fruit peut avoir une fonction économique mais aussi une fonction sociale si ces fruits font l'objet d'échanges au sein de la population, et également une fonction écologique si ces mêmes fruits attirent les papillons. Une même espèce peut, par ailleurs, avoir des usages différents au cours du temps ; par exemple au stade juvénile un arbre peut servir de tuteur, puis il produira des fruits qui seront consommés et/ou commercialisés et enfin il produira du bois qui sera utilisé comme combustible. Les usages d'une même espèce peuvent également varier d'un site à l'autre (une espèce dont les fruits sont consommés ici, peut être utilisée là-bas uniquement pour les vertus médicinales de ses feuilles).

Dans cette partie, on s'intéresse principalement aux usages potentiels de la production des espèces composant le peuplement des parcelles paysannes de cocotiers. Les fonctions sociales de ces espèces ne seront que rapidement présentées. Les fonctions écologiques seront abordées dans le chapitre IV, où seront rassemblées et discutées les différentes fonctions et usages du peuplement de ces parcelles.

III-2-2-2) Démarche et méthode retenues

Dans l'approche mise en œuvre, on cherche à mettre en évidence l'ensemble des usages des différentes espèces qui composent le peuplement des parcelles paysannes, en associant données bibliographiques et enquêtes auprès des exploitants.

Un tableau des usages du peuplement a été progressivement construit en associant les données bibliographiques et les savoirs locaux relatifs aux usages des différentes espèces recensées sur les parcelles de cocotiers de l'île de Malo. Pour construire ce tableau, une liste des différents usages susceptibles d'être remplis par les différentes espèces recensées sur les parcelles de cocotiers a été établie. Les lignes du tableau correspondent aux espèces recensées sur les parcelles décrites au cours de la caractérisation des systèmes de culture (annexe 5). Pour chacune de ces espèces, on a relevé les différents usages recensés dans les ouvrages et études concernant la végétation du Pacifique et plus particulièrement du Vanuatu (Wheatley, 1992 ;

Clarke et Thaman, 1993 ; Walter et Sam, 1999 ; Elevitch et Wilkinson, 2000 ; Allen, 2001 ; Walter *et al.*, 2003). Ces usages constituent les colonnes du tableau, progressivement remplies par la compilation de ces données bibliographiques. Le tableau représente uniquement les usages possibles du peuplement n'ayant pas à ce stade systématiquement vérifié les utilisations que les exploitants ont de ces espèces sur leurs différentes parcelles (annexe 5),.

Les usages locaux de chacune des espèces précédemment recensées sur les parcelles cocotiers ont été répertoriés en interrogeant des exploitants (natifs et migrants) choisis pour leur connaissance de la végétation locale et leur volonté de participation. Sept types d'usages ont ainsi été répertoriés pour les espèces composant le peuplement sur les parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo (annexe 5) :

- usage commercial (vente pour l'exportation ou sur le marché local)
- usage pour l'alimentation humaine (autoconsommation)
- usage pour la construction (bois d'œuvre, palmes pour la couverture des toitures)
- usage comme combustible
- usage pour l'artisanat ou utilisation dans la vie quotidienne (par exemple les feuilles d'*Heliconaspp.* ou des tronçons de tiges de bambou sont utilisés pour cuire le lap lap, plat national)
- usage dans l'alimentation animale (apétable)
- usage médicinal ou coutumier.

Certains usages décrits dans la bibliographie ne se retrouvent pas dans les usages cités par les exploitants ressources ; par exemple, les feuilles de certaines espèces ligneuses comme le bourrao (*Hibiscus tillasceus*), les erythrines (*Erythrina variegata*) ne sont pas (ou plus) consommées, le bois des nakavika (*Syzygium malaccence*) et des nadulele (*Burckella obovata*) n'est pas (ou plus) utilisés pour la construction sur Malo. D'autres usages, non décrits dans la bibliographie, ont en revanche été mis en évidence par les enquêtes auprès des exploitants ressources. Il s'agit essentiellement des usages de type médicinal et/ou coutumier que les acteurs locaux attribuent à la quasi totalité des espèces ligneuses locales recensées sur les parcelles de cocotiers.

Dans un second temps, on a sélectionné un ensemble de 35 parcelles représentant les différents stades des trajectoires agropastorales et agroforestières, la majorité de ces parcelles étant située dans la zone de plateau. La liste des espèces de chaque parcelle a été établie au cours de la phase de description des parcelles (voir chapitre II).

Pour chaque parcelle, un tableau des usages potentiels du peuplement est construit en associant la liste des espèces sur la parcelle à la liste des différents types d'usages. Le tableau ainsi obtenu sert de guide d'entretien pour interroger les exploitants sur les usages du peuplement de leurs parcelles. La liste des espèces identifiées étant parfois très importante (jusqu'à 40 espèces par parcelle), le tableau est simplifié en regroupant les espèces en 5 catégories compte-tenu de leur nature et/ou usage (espèces majeures, arbres fruitiers, autres arbres, espèces herbacées alimentaires, autre espèces herbacées). Ces tableaux permettent d'illustrer les usages¹⁴ du peuplement des parcelles paysannes de cocotiers.

¹⁴ On reste au niveau des usages potentiels (i.e. pour chaque espèce, usages possibles au moment des enquêtes -2001-2004- dans la zone d'étude) car les enquêtes auprès des exploitants n'ont pas permis de caractériser les usages réels, c'est à dire les utilisations effectives de chaque espèce sur chaque parcelle, les exploitants interrogés répondaient de

Pour représenter l'évolution des usages du peuplement au cours du développement des cocotiers, on compare entre eux les tableaux simplifiés correspondant aux différents stades des trajectoires. Chaque stade des trajectoires est représenté par une ligne sur laquelle figure les usages de chaque catégorie d'espèces. Ces différentes lignes sont finalement rassemblées dans un tableau représentant les usages des différentes catégories d'espèces pour chaque stade des trajectoires agropastorales et agroforestières (voir tableau 5).

III-2-2-3) Résultats

a) Usages des différents types d'espèces

Le cocotier remplit quasiment tous les types d'usages répertoriés, ses différentes utilisations sur Malo sont précisées dans le tableau 4. Les mêmes utilisations semblent retrouvées à travers l'archipel du Vanuatu, Caillon (travaux en cours) décrit de manière exhaustive les usages des différentes parties du cocotier, son importance dans la culture mélanésienne.

Tableau 4 : Les différentes utilisations du cocotier sur l'île de Malo (Vanuatu).

Type d'usage	
Commercial	Coprah, noix à boire Eau de coco
Comestible	Chair de la noix de coco rapée et pressé pour faire du lait de coco (ingrédient entrant dans la préparation de très nombreux plats) ou de la crème par cuisson le lait de coco. Germe de la noix (friandise) Bourgeon apical (choux coco)
Combustible	Les palmes, notamment les folioles séchées, la bourre et les coques des noix de coco sont utilisés comme combustible.
Construction	Palmes pour confection des toitures, pilier à partir de tronçon de stipe Plus rarement plancher réalisés en planches débitées dans le stipe Ustensiles réalisés avec la coque comme « shell » (bols utilisés notamment pour boire le kava)
Vie quotidienne	Paniers, nattes et éventails tressés avec les palmes vertes, balais réalisés avec la nervure centrale des folioles, huile pour le corps et les cheveux, parfums obtenu par macération de fleurs dans l'huile Stipe débite utilisé comme banc
Alimentation du bétail	les premières palmes issues de noix germées non récolté (navara) sont parfois consommé par le bétail Les palmes des cocotiers à hauteur des bovins
Coutumier et/ou médicinal	Noix offertes dans les cérémonies, marqueur du terrain

Le cacaoyer, autre espèce majeure sur les parcelles paysannes a essentiellement une vocation commerciale mais la pulpe des cabosses arrivant à maturité est aussi consommée comme une friandise désaltérante en passant dans les parcelles.

manière générale par espèce et il était difficile, pour une même espèce de distinguer les utilisations d'une parcelle à l'autre au cours de l'enquête.

Les espèces herbacées alimentaires recensées sur les parcelles de cocotiers ont essentiellement un usage alimentaire, le surplus est parfois commercialisé. Parmi ce groupe d'espèces, majoritairement composé d'espèces dites « exotiques » (*i.e.* plus ou moins récemment introduites au cours des déplacements de populations ou plus tardivement par les colons européens) seules les ignames, culture « traditionnelle », ont également une vocation sociale (usage coutumier).

Les espèces de type ligneuses fruitières (*Artocarpus altilis*, *Barringtonia edulis*, *Terminalia*) sont parfois utilisées comme source de combustible, mais leur vocation principale est l'alimentation humaine (fruits, feuilles). Le surplus est commercialisé ou consommé par le bétail. Par ailleurs, une grande proportion des espèces ligneuses locales possède des usages médicinaux ou coutumiers.

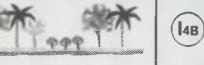
Les autres espèces ligneuses sont essentiellement utilisées comme bois d'œuvre (pour des constructions légères à lourdes selon les propriétés du bois de chaque espèce), comme combustible (les exploitants connaissent les propriétés calorifiques des différentes espèces) et pour la confection d'objets utilisés dans la vie quotidienne (les lamelles d'écorces d'*Hibiscus tillasceus* sont par exemple utilisées pour confectionner des sacs pour récolter des produits des jardins et des cordes pour attacher les cochons).

b) Usages du peuplement dans les systèmes de culture à base de cocotiers

A la différence des grandes plantations de cocotiers où l'unique produit est le coprah commercialisé pour l'exportation, dans les systèmes de culture paysans le peuplement est toujours plurispécifique. Aucune des espèces ne semble être destinée à un usage unique, à l'exception du namele (*Cycas circinalis*), plante réservée à un usage coutumier (dont le marquage des « lieux sacrés ou kastom plaes », des sépultures). En plus de la production de coprah commercialisée pour l'exportation, le peuplement de ces parcelles remplit une large gamme d'usages (tableau 5). Sur ces parcelles paysannes, la production est également destinée à la consommation humaine (fruits, racines et tubercules, légumes) et animale (feuilles, excédent de fruits mûrs), à la commercialisation sur le marché local (surplus de fruits, racines et tubercules, légumes), à la fourniture de bois pour la construction et de combustible (bois et bourre de coco), à la fourniture de matières (bois, écorce, feuilles,...) pour l'artisanat ou la vie quotidienne ainsi que pour des usages médicinaux et/ou coutumiers. Ces différents usages sont retrouvés tout au long du développement des cocotiers, mais leur importance relative et la catégorie d'espèces assurant ces usages évoluent au cours du temps (tableau 5).

Lorsque les cocotiers sont au stade juvénile ou sénescant, les parcelles paysannes des trajectoires agropastorales et agroforestières (groupes I_{3A} et I₂) ont plutôt un « usage domestique ». Les 5 catégories d'espèces sont y représentées (tableau 5). La production de ces parcelles est essentiellement destinée à la consommation humaine ; les différents fruits, noix, feuilles, racines et tubercules produits représentent un apport substantiel de bonne qualité nutritionnelle ce qui contribuerait à l'équilibre du régime alimentaire des populations rurales. Une partie de la production de ces parcelles a un usage dans la vie quotidienne comme par exemple les feuilles d'*Heliconia* ou de bananiers ('leaf lap lap' : *Heliconia spp.* et *Musa spp.*) sont utilisées pour cuire ou transporter des aliments. Le surplus d'espèces herbacées alimentaires est fréquemment commercialisé sur le marché local.

Tableau 5: Usages du peuplement dans les systèmes de culture à base de cocotiers (trajectoires agropastorales (SdC I) et agroforestières (SdC III-IV)).
 (⌘ = espèces majeures (cocotiers et parfois cacaoyers) ; ● = espèces ligneuses fruitières (arbres fruitiers) ; ○ = espèces ligneuses non fruitières (autres arbres ; ■ = espèces herbacées alimentaires ; □ = autres espèces herbacées.

						
Commercialisation	●	● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ○	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Alimentation humaine	● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ●	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Construction	○	○	● ○	● ○	● ○	● ○
Combustible	● ○	● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○
Artisanat/ usages vie quotidienne	⌘ ○ ■ □	⌘ ■ □	⌘ ● ○ ■	⌘ ○	⌘ ● ○ ■ □	⌘ ● ○ ■
Alimentation bétail		○	● ○	● ○	● ○	○
Médicinal et/ou coutumier	●	● ○ ■	● ○ ■	⌘ ● ○	● ○ ■	○

				
Commercialisation	⌘ ● ■	⌘ ●	⌘ ● ○	⌘ ●
Alimentation humaine	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Construction	● ○	● ○	● ○	○
Combustible	● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○
Artisanat/ usages vie quotidienne	⌘ ○ □	⌘ ● ■ □	⌘ ● ○	⌘ ○ ■ □
Alimentation bétail		● ○	● ○	● ○
Médicinal et/ou coutumier	● ■	● ○	● ○ □	● ○

Au stade productif, la production des parcelles paysannes est essentiellement utilisée pour la commercialisation (principalement du coprah, et éventuellement du surplus de fruits), qui représente l'une des principales sources de revenu monétaire de la population de Malo (tableau 5). Dans la trajectoire agropastorale, les cocotiers productifs sont par ailleurs associés avec des bovins qui remplissent différentes fonctions : (i) "épargne sur patte" qui peut être mobilisée en cas de besoin monétaire ou bien sacrifiée pour honorer des obligations sociales comme les dons lors des cérémonies de mariage ou de funérailles, (ii) production alimentaire représentant une importante source de protéines animales et (iii) outil efficace pour nettoyer la parcelle (pâturage du couvert herbacé) et faciliter le ramassage des noix de coco sur les parcelles paysannes relevant de la trajectoire agropastorale. Dans la trajectoire agroforestière, les cocotiers productifs sont associés aux cacaoyers dont la production est essentiellement destinée à la commercialisation.

Dans la trajectoire agropastorale (I_{1A} et I_{1B}), on retrouve uniquement les 3 catégories d'espèces qui correspondent aux espèces ligneuses. La production de ces espèces est essentiellement destinée à la commercialisation (exportation et marché local pour les espèces fruitières), à la consommation humaine (fruits divers, albumen et eau de la noix de coco), à la fourniture de combustible (bois et bourres des noix de coco) et à divers usages artisanaux ou de la vie quotidienne (ustensiles en bois, bambou, sacs et cordes...). En revanche, dans les situations correspondant à la valorisation par l'implantation de différentes associations dans les trouées du motif de plantation des cocotiers (groupes I_{1C} , I_{4A} et I_{4B} de la trajectoire agropastorale) les 5 catégories d'espèces sont présentes dans les situations correspondant au stade productif des cocotiers dans la trajectoire agroforestière (groupes II_{1A} , II_{1B}). La production de la parcelle est alors (comme au stade productif des cocotiers de la trajectoire agropastorale), à la fois destinée à la commercialisation (culture de rente, cocotiers et cacaoyers), à la consommation humaine (fruits, racines et tubercules, autres légumes), à la fourniture de combustible ainsi qu'à la confection d'objets de la vie quotidienne. Les productions de ces parcelles sont également utilisées, mais dans une moindre mesure pour fournir du bois de construction, nourrir les bovins (fourrage et fruits mûrs) ainsi que pour leurs propriétés médicinales et/ou des utilisations coutumières.

Ainsi, la production utilisée pour la consommation humaine et la commercialisation sur le marché local est d'abord celle des jardins vivriers associés aux cocotiers juvéniles, puis essentiellement celle des espèces fruitières ligneuses lorsque les cocotiers sont productifs. La fourniture de bois pour la construction et le combustible est d'abord assurée par la défriche des espèces ligneuses de la jachère dans laquelle ont été implantés les cocotiers, puis par les bourres de coco et par des prélèvements sur les espèces ligneuses (fruitières et non fruitières) associées aux cocotiers productifs.

Les enquêtes sur les usages potentiels du peuplement mettent en évidence la variété d'utilisation de chaque catégorie d'espèces sur les parcelles paysannes. Elles ne permettent en revanche pas de distinguer des différences significatives des usages potentiels du peuplement entre les trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SDC III)¹⁵. Entre ces différentes trajectoires, les exploitants n'utilisent cependant pas leurs parcelles pour les mêmes finalités : par exemple les parcelles relevant de la trajectoire agropastorale sont aussi utilisées pour le

¹⁵ Les tableaux simplifiés des usages du peuplement ont été établis pour chacun des groupes structurels, ils sont présentés en annexe 6)



pâturage des bovins alors que les parcelles de la trajectoire agroforestière ne le sont pas ou uniquement dans des situations de transition.

Une analyse des usages réels par les exploitants des parcelles de cocotiers pourrait permettre d'identifier les différences d'usages du peuplement entre les trajectoires agropastorale et agroforestière. Il est toutefois envisageable que les usages des produits (correspondant à des sorties de matières) soient les mêmes d'une trajectoire à l'autre. Pour analyser les différences d'utilisation du peuplement entre ces trajectoires, il conviendrait d'ajouter à l'analyse les fonctions sociales¹⁶ (comme le marquage foncier, la transmission de patrimoine, etc..) et écologiques du peuplement dans les différentes situations (la conservation d'espèces ou de « cultiver » présentant des caractéristiques remarquables...)... Cette analyse, qui compte-tenu du temps imparti par la thèse n'a pas été réalisée, permettrait de mettre en évidence les différences d'usages du peuplement entre les trajectoires paysannes, mais surtout de comprendre ce que l'exploitant attend de chaque type de situation : quels sont les usages des produits et les fonctions les plus importants dans chaque type de situation culturelle ?

Bien au-delà de la production de coprah, la diversité des usages potentiels du peuplement des parcelles de cocotiers (commercial, consommation humaine et animale, fourniture de combustible et de matière pour la construction, la vie quotidienne et coutumière) laisse entrevoir l'importance de ces parcelles dans le fonctionnement des exploitations familiales de Malo. La combinaison d'espèces répondant à différentes dynamiques de production permet d'obtenir une production continue au cours de l'année et tout au long du développement des cocotiers. La diversification des productions, et en particulier la production de racines, tubercules et noix commercialisables sur le marché local pourrait permettre (selon l'organisation et la stabilité de ces filières alternatives) de limiter la dépendance des exploitants vis-à-vis du coprah et des fluctuations de son cours sur le marché mondial.

Mais pour pouvoir porter un jugement sur ces systèmes, il est nécessaire d'en estimer au préalable les performances et la durabilité. Deux options sont pour cela envisageables, on se positionne soit d'un point de vue interne (par exemple par rapport aux objectifs et contraintes de l'exploitant) ou bien d'un point de vue externe (par exemple sur une question issue de la recherche comme la production de cocotiers sur ces parcelles ou encore la conservation de l'agrodiversité au cours du développement des cocotiers ...). Dans la suite du travail, on a choisi, du fait du temps limité et de difficultés méthodologiques à résoudre pour évaluer la production des parcelles paysannes, de se positionner d'un point de vue externe, en se focalisant sur l'évaluation de la production des cocotiers et des zones de jardins vivriers.

¹⁶ Le peuplement de ces parcelles paysannes remplit également des fonctions patrimoniales avec les plantations de cocotiers qui constituent l'héritage transmis à la génération suivante. Par ailleurs les cocotiers et autres espèces ligneuses (*Erythrina variagata* par exemple) assurent le marquage et la reconnaissance du foncier de chaque famille et de ses individus. Les parcelles paysannes de cocotiers ont également une fonction de « cohésion sociale » avec le ramassage des noix et leur décoquage assuré par des groupes de travail (kompagny) et une fonction culturelle avec la production de fleurs d'ornements et de produits médicinaux ou magiques.

III-2-3) Performances des systèmes de culture

III-2-3-1) Estimation de la production des cocotiers sur les parcelles paysannes

a) *Etats des connaissances & hypothèses*

Estimer la production en coprah nous permettra de mieux comprendre le fonctionnement du peuplement de cocotiers et en particulier l'élaboration de la production en coprah dans les systèmes de culture paysans. L'objectif est plus particulièrement de répondre aux questions suivantes:

- Question 1 :* Quels sont les facteurs qui déterminent le rendement en coprah et ses composantes sur les parcelles paysannes de Malo? (quelle est la hiérarchie de ces facteurs ?)
- Question 2 :* Comment évolue la production de coprah au cours du cycle des cocotiers ? sous l'influence de quels facteurs ?

Le rendement en coprah est déterminé par trois composantes présentées ci dessous (équation 2).

Équation 2: Production en coprah ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) = [kg de coprah/noix] * [Nombre de noix formées par cocotier et par an] * [Nombre de cocotiers par hectare]

- Composante 1 :* la teneur en coprah par noix (C/N) . Par définition, elle équivaut au poids d'un albumen à 6% d'humidité, elle est classiquement calculée à partir du poids de l'albumen frais et du taux d'humidité de ce dernier obtenu par passage à l'étuve (Labouisse, 2004b),
- Composante 2 :* le nombre de noix produites par cocotier et par an ($\text{NN} \cdot \text{an}^{-1}$). Il est déterminé par le nombre de régimes formés par an ($\text{NR} \cdot \text{an}^{-1}$) et par le nombre de noix produites par régime ($\text{NN} \cdot \text{R}^{-1}$),
- Composante 3 :* la densité de cocotiers sur la parcelle.

Dans cette étude, des hypothèses simplificatrices ont été réalisées pour estimer la production des parcelles de cocotiers, compte-tenu du peu de données disponibles sur l'évolution de ces différentes composantes au cours du cycle des cocotiers et du temps imparti pour la thèse:

- Hypothèse 1 :* La teneur en coprah par noix est constante au cours du développement des cocotiers.
- Hypothèse 2 :* Le nombre de régimes formés par an est constant pendant la phase productive des cocotiers.
- Hypothèse 3 :* Sur les parcelles, les cocotiers sont génétiquement similaires et appartiennent à une même classe d'âge. La production de la parcelle peut donc être estimée à partir de la mesure de la production d'un échantillon de cocotiers sur la parcelle.

(1) La teneur en coprah par noix (C/N) serait une caractéristique variétale, peu influencée par les caractéristiques environnementales de la zone de culture des cocotiers (Labouisse, 2004b). Aucune différence significative sur ce critère n'a ainsi été enregistrée entre les populations Grand Vanuatu (GVT) des stations de recherche

du Vanuatu (VARTC, ex-Saraoutou) et de Côte d'Ivoire (Marc Delorme) (de Nuce de Lamothe et Wuidart 1981). Par ailleurs, aucune différence significative n'est observée entre les quantités de coprah par noix de cocotiers (de même origine génétique) cultivés dans des sols de plateaux ou des sols littoraux (Labouisse, 2004b).

L'évolution de la teneur en coprah par noix au cours du développement des cocotiers est peu connue. Des mesures de teneur en coprah par noix des cocotiers GVT n'ont été réalisées (à notre connaissance) que pour une période comprise entre la 9^{ème} et la 12^{ème} année après plantation (base de données CIRAD et VARTC). Au cours de cette (courte) période, la teneur en coprah par noix apparaît indépendante de l'âge des cocotiers. La teneur en coprah par noix de cocotiers hybrides « Nain Rouge * Grand Vanuatu » adultes ne varie pas au cours de 3 années consécutives d'observations (entre 2001 et 2003, I. Mialet-Sera, comm. pers.). De Taffin *et al.* (1992) rapportent, par ailleurs que la teneur en coprah/noix est une variable indépendante de la densité de plantation des cocotiers.

Dans le cadre du diagnostic agronomique envisagé ici, on s'intéresse à des pas de temps beaucoup plus long (de l'ordre de 50 ans) que ceux correspondant aux observations disponibles (*i.e.* 2 à 3 années consécutives). En l'absence de données disponibles sur l'évolution de la quantité de coprah par noix au cours du cycle des cocotiers, on admettra, dans le cadre de cette étude, que cette quantité est constante et égale à 156g de coprah par noix (c.v. = 35 %). Cette teneur moyenne a été calculée, dans le cadre de ce travail, à partir d'un échantillon constitué de 127 noix correspondant à un prélèvement de 5 noix par parcelle sur 25 parcelles paysannes, réalisé lors de la caractérisation des systèmes de culture¹⁷.

(2) Le nombre de régimes formés par an et le nombre de noix produites par régime dépendent à la fois de caractéristiques génétiques, des modalités de gestion et du climat auxquels sont soumis les cocotiers. L'effet des conditions climatiques serait déterminant et constituerait le premier facteur de variation du nombre de régimes formés par cocotier et par an (Frémond *et al.*, 1966). En l'absence de données disponibles sur l'évolution du nombre de régimes formés par an au cours du développement des cocotiers GVT, et parce que les conditions climatiques sont relativement constantes et particulièrement favorables à la culture du cocotier (chapitre 1-3) on considère ce facteur comme constant et égal à 12 régimes formés par cocotier et par an.

Dans cette étude, les hypothèses simplificatrices réalisées conduisent donc à considérer que les seuls facteurs de variation de la production en coprah sont : le nombre de régimes formés par cocotier et par an ainsi que la densité de cocotiers sur les parcelles.

¹⁷ Les noix récoltées (ramassées) sur les parcelles paysannes contiennent entre 384 et 16 g de coprah, soit une moyenne de 156 g de coprah par noix. Cette forte variabilité peut être expliquée par le mode de récolte des noix. Le processus de germination des noix (hydrolyse de l'albumen, produit à la base de la fabrication de coprah) pouvant en effet avoir débuté au moment de la récolte, si la récolte a lieu plus de 5 mois après la chute des noix (pour l'hybride NRV*GVT et Grand Ouest Africain (GOA), de Nuce de Lamothe, 1975).

Les composantes de la production de coprah sont conditionnées par le fonctionnement du peuplement de cocotiers (bilan nutritionnel, bilan hydrique et bilan carboné), lui même déterminé par un ensemble d'interactions tout au long du cycle des cocotiers entre des facteurs techniques (modalité d'implantation et de gestion des cocotiers) et des facteurs naturels (caractéristiques climatiques et agro-pédologique). L'influence de ces facteurs sur les différentes composantes de la production en situation de grande plantation (plantation monospécifique de type industriel) est récapitulée dans le tableau 6 (Frémond *et al.*, 1966).

Tableau 6: les composantes de la production de coprah en culture monospécifique (d'après Frémond *et al.*, 1966)

Facteurs pouvant agir favorablement (+), ou très favorablement (++). facteurs pouvant avoir une action défavorable (-). Tableau extrait de Nucé de Lamothe, 1966, p 153.

Composantes de la production	Gamme de variation	Facteurs techniques					Facteurs naturels					
		Sélection	nutrition	entretien	Etat	Traitement sanitaire	Sol fertilité	Sol	Pluie	Sécheresse	Insolation	Températur
Nombre de feuilles	11 à 15 %	+	+				+	+	+		+	+
Coefficient de fructification	0 à 100%	++	++	+	-	+	+	+	+	-	+	
Nombre de régimes	0 à 15	++	++	+	-	+	+	+	+	-	+	+
Nombre de fleurs ♀ par inflorescence	16 à 32	+	+		-	+						
Coefficient de nouaison	0 à 80 %	+	+	+			+	+	+	-		
Chute des petites noix	0 à 100 %	+	+		-	+	+	+	+	-		
Nombre de noix par régime	0 à 25	+	+	+	-	+	+	+	+	-		
Poids de coprah par noix	100 à 350g	++	++	+			+	+			+	
Précocité		++	++	+			+	+	+	-	+	+

En plantation paysanne, le cocotier est cultivé en association avec de multiples espèces ligneuses et/ou herbacées. Le fonctionnement du peuplement de cocotiers (assimilé compte-tenu des hypothèses simplificatrices posées à la production de noix par cocotier pour une densité donnée) et la production en coprah sont alors déterminés par un ensemble d'interactions où les compétitions pour les ressources (lumière, eau, éléments nutritifs) entre les cocotiers et les autres espèces sont déterminantes. Le niveau de ces compétitions entre composantes du peuplement est déterminé par un ensemble d'interactions entre le climat, les caractéristiques agroécologiques du milieu et les pratiques des exploitants au cours du développement des cocotiers (figure 18).

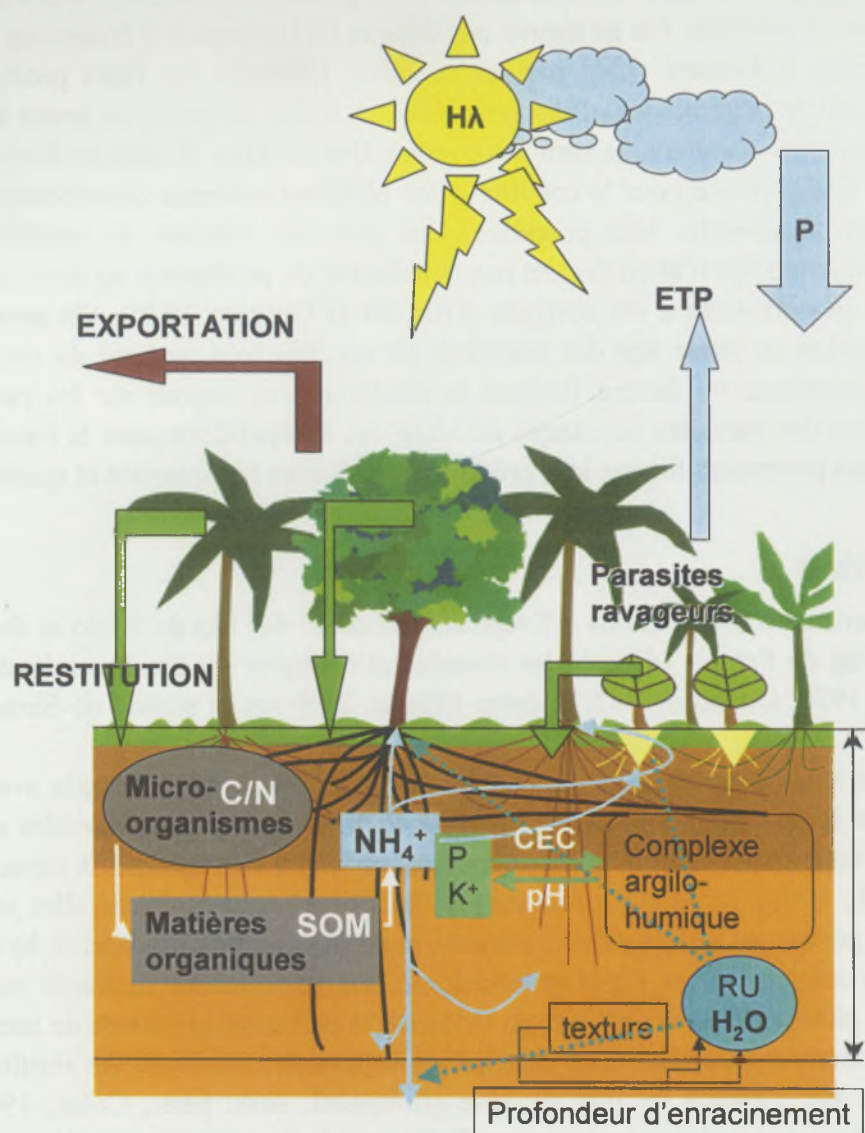


Figure 18 : Interactions entre les composantes du peuplement sur les parcelles paysannes de cocotiers

La structure de la végétation et en particulier la position des cocotiers dans le profil, déterminent le niveau de compétition pour la lumière, les éléments nutritifs et l'eau entre les cocotiers et les autres espèces.

- Rayonnement disponible

Dans les systèmes agroforestiers des zones tropicales humides, la quantité de rayonnement disponible est le facteur limitant de la production le plus fréquent (Rao *et al.*, 1998). Les durées et quantités d'ensoleillement moyennes relevées sur la station de recherche VARTC remplissent les exigences culturales des cocotiers. La quantité de rayonnement disponible ne limiterait donc pas le fonctionnement des cocotiers lorsqu'ils constituent la strate dominante de la végétation, comme c'est le cas pour la majorité des parcelles paysannes en production. En revanche, la quantité de rayonnement disponible peut constituer un facteur limitant le développement et la production ultérieure des cocotiers lorsqu'ils sont dominés par d'autres espèces comme c'est souvent le cas au stade juvénile, où lorsque le peuplement est constitué

de plusieurs générations de cocotiers, la strate de cocotiers plus âgés empêchant alors les plus jeunes de fructifier et de produire. On ne trouve pas dans la bibliographie d'études sur l'effet de la compétition pour la lumière subie par les cocotiers juvéniles sur leurs productions ultérieures. D'une manière générale les effets des pratiques, mises en œuvre au jeune âge sur la production ultérieure des cocotiers, ne sont pas connus. Des résultats d'essai de fertilisation ont mis en évidence l'importance pour le cocotier d'une nutrition minérale convenable dès la plantation pour pouvoir atteindre leur potentiel : des cocotiers cultivés en condition de carence potassique au jeune âge n'atteindraient pas le potentiel de production au stade mature, même si la carence en potassium a été corrigée (Frémont et Ouvrier, 1971). On peut donc supposer que la situation au jeune âge des cocotiers ait un effet tout au long du cycle des cocotiers et puisse constituer un facteur limitant la production en coprah sur les parcelles paysannes. Dans le cas des parcelles paysannes de Malo, les compétitions pour la lumière au jeune âge des cocotiers pourraient limiter leur production ultérieure (en quantité et qualité).

- Bilan hydrique

Le bilan hydrique mensuel (Précipitations – Evapotranspiration) des îles de Santo et de Malo est positif tout au long de l'année (d'après les données climatiques mensuelles relevées sur Santo entre 1951 et 1970, Quantin, 1982, et entre 1986 et 2000 sur la station de Saraoutou, figure 3).

La granulométrie des sols de plateaux est constituée de 50 à plus de 90% d'argile avec une fraction d'argile et de limons fins toujours supérieure à 80 %. Les réserves pondérales en eau sont peu abondantes (entre 0,35 au point de flétrissement et 0,5 kg H₂O.kg⁻¹ sol à capacité au champ) (Bozon *et al.*, 1991). Mais la profondeur des sols de plateau (pouvant aller jusqu'à 4m, Quantin, 1982) permet un enracinement profond et augmente ainsi la réserve hydrique utilisable¹⁸ par les cocotiers et les espèces associées. Des excavations réalisées sur une parcelle située sur le plateau de Santo ont mis en évidence la présence de racines de cocotiers jusqu'à 2,5m de profondeur (Jourdan, com pers.). Ces arguments, ainsi que les résultats de bilan carboné établis par mesures de flux de sève (Roupsard, com. pers., Colas, 1997 ¹⁹) permettent de considérer que le bilan hydrique ne limite pas le fonctionnement de cocotiers implantés sur sols de plateau.

- Éléments nutritifs

En l'absence de fertilisation dans les systèmes de culture paysans, la nutrition des cocotiers dépend de la richesse initiale du milieu, de la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, mais aussi de l'entretien du stock d'éléments nutritifs disponible par l'intermédiaire des restitutions de biomasse et des processus de formation/ dégradation des matières organiques.

¹⁸ Pour une différence d'humidité pondérale inférieure à 15 % (Bozon *et al.*, 1991) et avec 2.5 m de profondeur d'enracinement, la réserve utile pour les cocotiers est d'environ 280 mm d'eau (238 mm d'eau). Si l'on confronte cette valeur à l'ETP moyenne mensuelle (44,09 mm H₂O.mois⁻¹ d'eau) ainsi qu'à la moyenne mensuelle de pluviométrie (238 mm H₂O.mois⁻¹), on peut admettre qu'il y ait peu de probabilité que la réserve hydrique soit vide entre deux événements pluviométriques, ce qui n'exclut pas des « sécheresses temporaires ».

¹⁹ La comparaison entre le comportement hydrique de cultures pures de cacaoyers et d'associations cocotiers/cacaoyers ne révèle aucun phénomène de compétition pour l'exploitation de la ressource en eau entre les cacaoyers et les cocotiers cultivés en association dans les conditions d'observations (Colas, 1997, p 244).

Différents auteurs jugent les caractéristiques nutritionnelles des sols de Santo / Malo excellentes, en particulier pour la culture des cocotiers (Quantin, 1982, Bozon *et al.*, 1991). Les exigences nutritionnelles des cocotiers sont donc *a priori* comblées par le stock d'éléments nutritifs initialement disponibles dans ces sols. La disponibilité de ces éléments n'est *a priori* pas limitée par le bilan hydrique, considéré comme non limitant sur les sols de plateau de Malo/Santo. Le pH de ce type de sol est proche de la neutralité (Bozon *et al.*, 1991), il n'y a donc pas de risque d'immobilisation d'éléments ni de toxicité qui limiterait l'alimentation du peuplement. Le risque de lessivage de l'azote est, par ailleurs, limité par la texture fortement argileuse des sols de plateaux (Bozon *et al.*, 1991).

L'association des cocotiers avec des espèces ligneuses susceptibles de s'enraciner en profondeur permettrait également de re-capturer les éléments mobiles, tel que l'azote, susceptibles d'être lessivés le long du profil. Quantin (1982) souligne toutefois le risque d'apparition de carence en phosphore, du fait de sa lente solubilité sur les sols de plateaux, et dans une moindre mesure d'un risque de déficience potassique. En l'absence de fertilisation dans les systèmes de culture paysans, des déficits nutritionnels, en particulier des carences en potassium et en phosphore, pourraient donc d'apparaître et limiter la production des parcelles paysannes.

- parasites et/ou de ravageurs

La production des cocotiers sur les parcelles paysannes peut également être limitée par des attaques de parasites et/ou de ravageurs. La modification du microclimat sous le couvert de cocotiers et espèces associées peut, selon la structure de la végétation, favoriser un développement de parasites et/ou de ravageurs, limitant le développement et/ou la production des cocotiers. Les principaux ravageurs de la production des cocotiers (Oryctes) sont absents du Vanuatu (de Taffin, 1998), mais les dégâts causés par les rats sur les jeunes noix ont été cités comme un facteur de limitation de la production paysanne de coprah (Weightman, 1989; Bridier, 2000).

- allélopathie

Enfin, comme le soulignent John et Nair (2001), les phénomènes d'allélopathie susceptibles de limiter le développement ou la productivité des associations avec les cocotiers sur les parcelles paysannes, n'ont pas été étudiés en Inde, ni ailleurs à notre connaissance. Par ailleurs, on connaît très peu la physiologie de la majorité des espèces associées aux cocotiers sur les parcelles paysannes. Dans le cadre du travail de thèse, on ne dispose pas de moyen de diagnostic du facteur allélopathie.

Le rendement en coprah de la parcelle ne dépend pas uniquement de la production des noix par cocotier mais aussi des processus qui se déroulent entre la chute des noix et leur récolte. Une fois tombées à terre, les noix germent ; l'albumen est progressivement hydrolysé ce qui diminue progressivement la quantité d'albumen susceptible d'être récolté. Par ailleurs, une partie des noix produites est récoltée et consommée au fil des besoins de la maisonnée. Cette partie de la production qui est auto-consommée comprend à la fois, des noix non mures

récoltées comme noix à boire²⁰, des noix récoltées pour faire à partir de l'albumen mature le lait de coco et enfin des noix germées dont l'haustorium²¹ est consommé comme friandise. Enfin, le reste de l'albumen est ramassé pour être transformé en coprah qui sera ensuite commercialisé²². La production récoltée et commercialisée (production de coprah) dépend donc de la production de la parcelle, mais aussi de la fréquence et de la facilité de récolte des noix. La facilité de récolte des noix est déterminée par la structure de la végétation sur la parcelle, pour une production en coprah comparable, la production récoltée pourrait être moins importante parce que les noix y sont plus difficiles à trouver.

Le tableau 7 récapitule les différentes hypothèses relatives aux facteurs susceptibles de limiter la production en coprah des cocotiers (avant la chute des noix) sur les parcelles paysannes, sur laquelle on se focalise dans cette étude. A chacun des hypothétiques facteurs limitant la production en coprah est associé le ou les indicateur(s) retenu(s) pour rechercher les facteurs limitant la production en coprah sur les parcelles paysannes.

Tableau 7: Hypothèses concernant les facteurs limitant la production de coprah sur les parcelles paysannes et moyens d'estimation de ces facteurs.

Hypothèses de facteur limitant la production sur les parcelles paysannes de cocotiers	Facteur limitant sur les parcelles de Malo	Méthode d'estimation
Quantité de rayonnement disponible sur les parcelles en production	Non (strate dominante)	
Quantité de rayonnement au jeune âge	Oui	Histoire culturelle (enquête exploitant)
Bilan hydrique	Non	
	Oui	Estimation bilan nutritionnel des cocotiers (diagnostic foliaire) Observation des symptômes de carence minérale
Déséquilibre nutritionnel		Analyse de la composition minérale du sol (horizon 0-20 et 20-35 cm)
Entretien du stock d'éléments nutritifs	Oui	Estimation teneur en matières organiques et rapport Carbone /Azote (horizon 0-20 et 20-35 cm))
Attaque de parasites et/ou ravageur	Oui	Observation des symptômes des principaux parasites et ravageurs des cocotiers
Allélopathie	Non	

Pour déterminer quels sont les facteurs déterminant la production en coprah sur les parcelles paysannes (question 1) et quelle est l'évolution de cette production en coprah au cours du développement des cocotiers (question 2), on mobilise les méthodes décrites dans les pages qui suivent.

²⁰ La commercialisation des noix à boire (noix de coco non mature) sur les marchés urbains locaux est en voie de développement.

²¹ Embryon de la noix de coco en cours de germination

²² se reporter à l'annexe 8 qui présente les modalités de la récolte de coprah sur les parcelles paysannes.

b) Méthodes

Dans cette partie sont présentées les méthodes utilisées pour :

- (1) estimer la production en coprah (production et production récoltée pour la commercialisation) et son évolution au cours du temps (compilation de données bibliographique et mesures sur chronoséquences de parcelles paysannes)
- (2) estimer l'état nutritionnel des cocotiers (méthode du diagnostic foliaire)
- (3) estimer l'intensité des attaques de parasites et de ravageurs

On se reportera au chapitre II pour les méthodes utilisées pour retracer l'histoire culturelle des parcelles et la structure du peuplement et au chapitre III-3-3 pour les méthodes d'estimation de la teneur en matière organique du sol.

b-1) Méthodes d'estimation de la production des cocotiers

b-1-1) Mise en évidence à partir de la bibliographie de la tendance d'évolution de la production de coprah au cours du développement des cocotiers

L'élaboration de la production au cours du développement des cocotiers a été peu étudiée, et essentiellement pour les 10-15 premières années après la plantation des cocotiers. On ne trouve, à notre connaissance, qu'une seule référence bibliographique concernant des cocotiers Grands de plus de 40 ans. Il s'agit d'une étude évaluant les opportunités de régénération des plantations ou de complantation avec des cocotiers de plus de 60 ans en Papouasie Nouvelle Guinée (Ollivier *et al.*, 2000). On ne dispose donc pas de référence de potentiel de production au cours du développement des cocotiers utilisable pour le diagnostic des performances des parcelles paysannes de cocotiers.

En l'absence de ce référentiel, les données relatives aux composantes de la production (nombre de noix produites par an, coprah/noix, densité des cocotiers sur la parcelle) pour des cocotiers de type Grand adultes (de plus de 30 ans) ont été recherchées dans la littérature pour en déduire une tendance d'évolution de la production, courbe enveloppe à laquelle confronter les estimations obtenues dans notre étude. Ces données ont été compilées en indiquant pour chacune, la variété de cocotiers considérée, la densité de plantation, la localisation du site expérimental ainsi que la référence bibliographique correspondante (figure 19). Une seule référence, à notre connaissance, s'intéresse à l'évolution de la production sur le long terme, à savoir sur une période comprise entre 0 et 40 ans après la plantation des cocotiers cultivés en conditions optimales (fertilisation et irrigation des parcelles) (Satyabalan, 1972). La production débute vers la cinquième année après la plantation des cocotiers et la plantation atteint sa pleine production vers la 25^{ème} année, la production serait ensuite constante jusqu'au moins la 40^{ème} année. Elle déclinerait lors de la sénescence des cocotiers, mais on ne dispose pas d'information précise à ce sujet. Une tendance d'évolution de la production au cours du cycle des cocotiers peut être dégagée de ces données en calculant un ajustement statistique de type sigmoïde ($r^2 = 0.93$, figure 19) Nous avons choisi l'ajustement sigmoïde car il permet de représenter à la fois le démarrage progressif de l'entrée en production et une phase de plateau, qui correspondrait à la pleine production de la parcelle. Les 40 années de suivi disponibles ne permettent cependant pas de prévoir à quel moment du cycle des cocotiers la production commence à décliner. Plus de 60 années après la plantation des cocotiers, les cocotiers seraient encore productifs ; en Papouasie, où les conditions agroécologiques sont relativement

proches de celles de Santo/Malo, des cocotiers de 67 ans produisent en moyenne encore 62 noix par an (Ollivier *et al.*, 2000).

Parmi les autres références disponibles, on dispose des productions mesurées sur les parcelles de la station de recherche du Vanuatu (VARTC) pour des cocotiers GVT de 4 à 12 ans. Un modèle sigmoïde a également été adopté pour représenter l'évolution de la production au cours du développement des cocotiers ($r^2=0.95$; figure 19). La pleine production des cocotiers GVT semble atteinte vers la 10^{ème} année après la plantation, ce qui correspondrait à une entrée en production plus précoce que celle observée pour les cocotiers West Coast Tall (WCT) en Inde, mais le peu de données disponibles ne permet pas de conclure.

Cette compilation bibliographique met en évidence la durée de la phase productive pour des cocotiers cultivés en grande plantation (la parcelle est encore en pleine production 50 années après la plantation des cocotiers) mais ne permet pas de définir la phase de plateau ni le moment où les cocotiers entrent en sénescence.

b-1-2) Estimation de la production en coprah sur les parcelles paysannes

L'estimation de la production en coprah (P) sur les parcelles paysannes repose sur l'estimation du nombre de noix produites par cocotier et par an ($NN.an^{-1}$). Pour prédire la production en coprah de l'année à venir, les experts ont ainsi mis au point une méthode basée sur l'estimation de la charge des cocotiers, établie en comptant le nombre de noix portés par des régimes à différents stades de maturité (Ochs et Bonneau, 1991 en collaboration avec D. Boutin).

L'architecture très régulière du cocotier et son lien étroit avec sa biologie florale permettent d'avoir facilement accès à différents stades de maturité des régimes (annexe 7). A partir de cette estimation du nombre de noix comptées sur 3 régimes représentant différents stades de maturité des noix, on détermine le nombre de noix produites annuellement par cocotier ($NN.an^{-1}$) en rapportant cette estimation à l'ensemble de l'arbre et en considérant le nombre de régime formé par an (équation 3).

Lorsque les cocotiers sont âgés et hauts, en observant du sol, on a tendance à surestimer le nombre de noix par régime. Pour corriger ces difficultés d'observation et de comptage du nombre de noix par régime, un facteur correctif (a) a été établi en comptant, à partir d'observations à la fois au niveau du sol et au niveau de la couronne, le nombre de noix pour chaque régime et ce pour l'ensemble des régimes de 5 cocotiers de 35 ans (et d'environ 15 m de haut).

Équation 3 : production de noix par cocotier et par an

$$NN.an^{-1} = NR.an^{-1} \times \frac{a}{3} \times \sum_{rang14,19,24} NN.régimes^{-1}$$

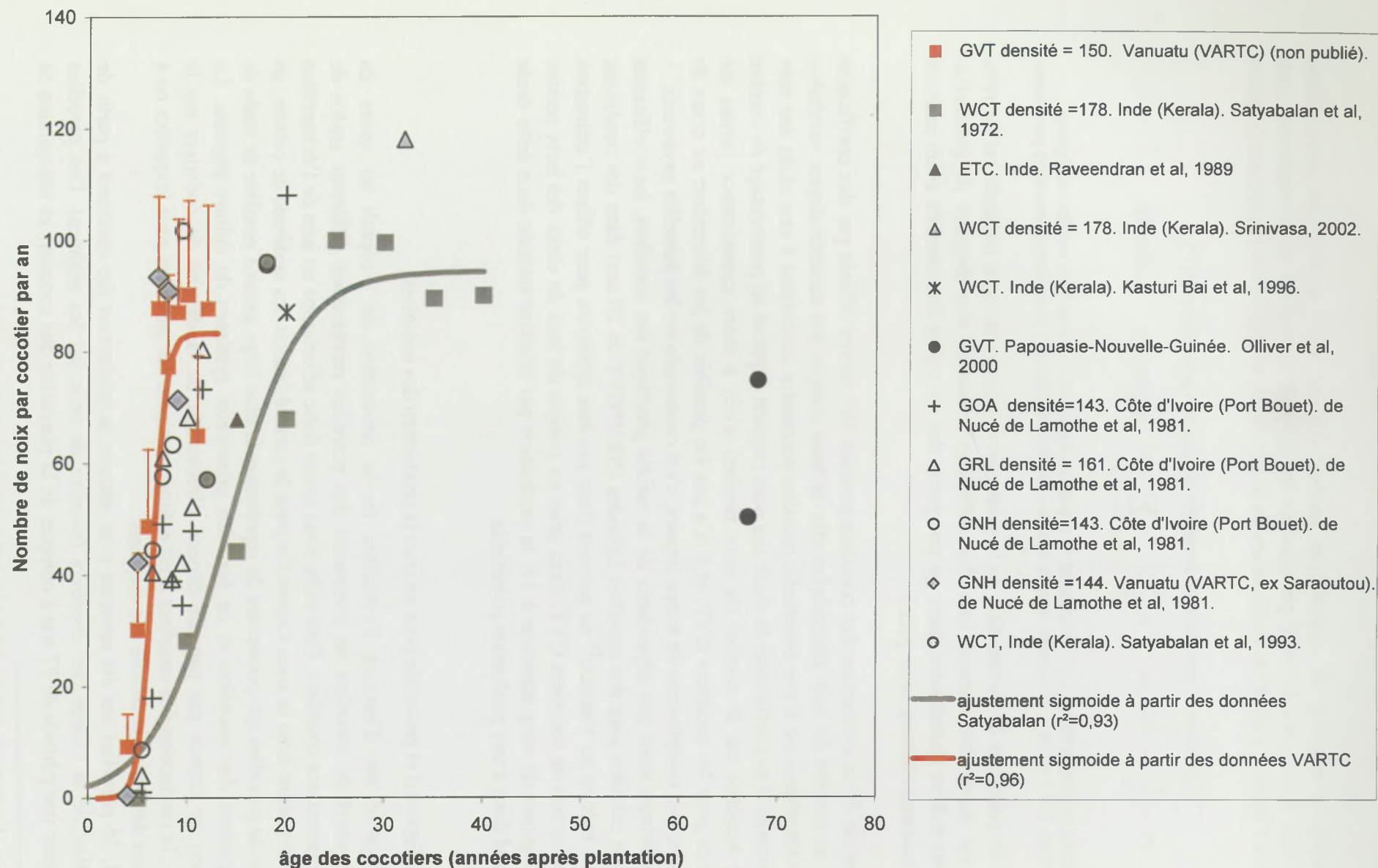


Figure 19: Evolution de la production au cours du développement des cocotiers (compilation des données bibliographiques).

La production annuelle de coprah par hectare (P) est alors estimée en convertissant l'estimation du nombre de noix par cocotier en quantité de coprah et en rapportant cette quantité à l'hectare à partir de l'estimation de la densité de cocotiers sur la parcelle (équation 4).

Équation 4: production annuelle de coprah par hectare (P)

$$P = \frac{C}{N} \times NR \cdot an^{-1} \times \frac{a}{3} \times \sum_{rang\ 14, 19, 24} NN \cdot régimes^{-1} \times densité$$

avec P : en kg de coprah/ha/an, C/N : la quantité de coprah en kg par noix, $NR \cdot an^{-1}$: le nombre de régimes formés par an, $NN \cdot régime^{-1}$: le nombre de noix formées par régime, densité : le nombre de cocotiers par hectare

L'ordre de précision de l'estimation de la production obtenue par cette méthode est de 10%, ce qui est acceptable comme tenu des difficultés à obtenir des données de production paysannes fiables (notamment parce qu'une partie des noix peut être récoltée avant maturité pour la boisson) (Boutin, com. pers.).

L'estimation de la production des cocotiers pourrait être encore affinée par des coefficients affectés au nombre de noix dénombrées afin de tenir compte des caractéristiques variétales, d'aléas climatiques ou d'une éventuelle pression parasitaire conduisant à une chute des noix avant maturité. Les coefficients de chute des noix (rapport exprimé en pourcentage du nombre de noix tombées sur le nombre de noix nouées) n'ont à notre connaissance jamais été déterminés pour les cocotiers GVT, et il n'a pas été possible de les déterminer au cours de cette étude, qui, compte-tenu du temps imparti, s'est concentrée sur les parcelles paysannes. Ces coefficients étant très dépendants de la variété génétique des cocotiers, les coefficients qui ont été calculés pour des cocotiers hybrides (NRV*GVT de 20 ans) dans des conditions de grande culture au Vanuatu²³ ne peuvent donc pas être appliqués pour affiner l'estimation de la production de cocotiers GVT. Sans prise en compte du taux de chute des noix portées par les régimes de rang supérieur à 14, la production par cocotier estimée dans cette étude correspond donc à une production potentielle.

- Dispositif et protocole pour estimer la production des cocotiers

Notre objectif est d'estimer l'évolution de la production de coprah au cours du développement de cocotiers en comparant des parcelles représentant différents stades de développement des cocotiers. Pour cela, nous avons donc sélectionné au sein de l'échantillon de parcelles décrit dans la zone Centre-Est pour la caractérisation des systèmes de culture, un ensemble de parcelles qui permettent de représenter la plus large gamme possible de stade de développement des cocotiers et ce pour les principaux systèmes de culture paysans. La production de coprah par parcelle dépend directement de la densité de cocotiers sur la parcelle ; la production des cocotiers n'est estimée que pour les parcelles pour lesquelles on a par ailleurs déterminé la densité des cocotiers.

Au final, 26 parcelles ont été retenues pour estimer la production des cocotiers à partir de l'estimation de la charge des cocotiers (nombre de noix sur les régimes). Ces parcelles représentent une période de 77 ans à compter de la plantation des cocotiers et une gamme de

²³ Des taux de chute de (42.6± 17.8 %), (49.1±19.6 %) et (76.5±4.9 %) ont été calculés pour respectivement les régimes de rang 14, 19 et 23-24 des cocotiers hybrides NRV*GVT (Mialet-Serra, com. pers.)

densité variant entre 111 et 277 cocotiers.ha⁻¹. Parmi ces parcelles, 20 représentent les différents stades de la trajectoire agropastorale (SDC I) et 6 ceux de la trajectoire agroforestière (SDC III-IV) (tableau 8).

Les comptages de noix sont réalisés sur une dizaine de cocotiers par parcelle, pour chacun on compte les régimes de rang 14, 19 et 24 qui correspondent approximativement à des régimes de 4, 8 et 12 mois (annexe 7). Les noix sont comptées sur des régimes de la spire de référence, (*i.e* la spire portant la palme 14, qui porte à son aisselle un régime avec des « noix grosses comme le poing »). La palme 14 est facilement repérable sur le terrain, car elle correspond à la palme directement en dessous (et sur la même spire) de la palme portant l'inflorescence nouvellement ouverte (palme 11) visible de loin.

b-1-3) Estimation de la production de coprah récoltée pour la commercialisation sur les parcelles paysannes

La production récoltée pour la commercialisation est estimée par enquête auprès de l'exploitant. On l'interroge sur la fréquence annuelle de récolte et sur les quantités de coprah ramassées à chaque récolte. Au cours de l'enquête, on s'assure en particulier (i) que l'on fait référence à la même surface, et (ii) que l'on désigne la même chose sous le terme de coprah (l'albumen est parfois appelé 'copra' ou 'green coprah' au Vanuatu et avec 1kg d'albumen on obtient environ 500g de coprah). Enfin, les unités employées par les exploitants doivent être converties dans le système international (1 sac de coprah correspond en moyenne à 65 kg).

Les enquêtes pour estimer la production de coprah récoltée pour la commercialisation ont été réalisées sur l'ensemble de l'échantillon de parcelles paysannes, soit un ensemble de 74 parcelles situées dans la zone de plateau, dont 56 et 18 parcelles représentent respectivement les trajectoires agropastorale et agroforestière.

b-2) Méthode d'estimation de l'état nutritionnel des cocotiers

b-2-1) la méthode du diagnostic foliaire pour évaluer la nutrition minérale des cocotiers

L'état nutritionnel des cocotiers est évalué par la méthode du diagnostic foliaire (présentée plus en détail en annexe 9, a). Cette méthode a été mise au point pour gérer la nutrition minérale de plantations industrielles de palmiers à huile et de cocotiers en vue de maximiser, à moindre coût, la production de ces plantations. Elle repose sur l'association d'essais de fertilisation et d'enquêtes de diagnostic foliaire (Ochs, 1985). Les essais de fertilisation déterminent des niveaux de référence, dans des conditions agroécologiques et de gestion comparables à celles des plantations sur lesquelles seront réalisées les enquêtes de diagnostic foliaire. Ces niveaux de référence correspondent à des doses optimales pour un objectif économique donné – le plus souvent optimisation financière (dans un contexte économique donné, les doses optimales sont les doses dont le moindre accroissement est juste compensé en valeur par l'augmentation de rendement correspondante). A cette dose optimale par élément, on fait correspondre des teneurs foliaires repères par éléments appelées niveaux

critiques (Ochs, 1985). Les enquêtes en plantations permettent de déterminer la teneur foliaire de chaque élément nutritif, ces teneurs sont alors confrontées au niveau critique pour juger et éventuellement corriger la nutrition minérale des cocotiers de la parcelle enquêtée.

Les niveaux critiques, notamment celui de l'azote, évoluent en fonction de l'âge des cocotiers (Ochs; 1985). Un barème des niveaux critiques des teneurs en éléments minéraux dans la feuille 14 a été établi comme référence pour juger de l'état nutritionnel des cocotiers cultivés en grandes plantations dans les différents types de sols du Vanuatu (IRHO, 1993, annexe 9, a). Ce barème de niveaux critiques correspond à l'objectif de production des grandes plantations, *i.e.* production maximale de coprah à moindre coût.

Dans cette étude, on a utilisé ce barème pour juger de l'état nutritionnel des cocotiers en plantations paysannes. Ce barème constitue un outil de diagnostic permettant, en y confrontant les teneurs foliaires déterminées sur les parcelles paysannes, de repérer un éventuel déséquilibre nutritionnel par rapport à un objectif de production maximale.

b-2-2) Protocole de prélèvement et d'analyse des échantillons pour le diagnostic foliaire et dispositif de parcelles retenu

Le protocole suivi est une adaptation aux conditions paysannes du protocole standard mis au point par l'IRHO (Martin, 1977). Sur chacune des parcelles constituant la chronoséquence, 8 cocotiers ont été choisis au hasard. La palme 14 de chaque cocotier est repérée et un grimpeur est chargé de la prélever (entre 7 et 11h du matin). Quatre folioles saines (deux de chaque côté du rachis) sont prélevées dans la partie médiane de cette palme. Les fragments de folioles sont préparés suivant les recommandations de l'IRHO (Martin, 1977). Leur séchage s'effectue en deux phases, d'abord à l'air libre après rinçage des fragments à l'eau déminéralisée puis avant 48 h par un passage à l'étuve de 12h à 70-80°. Les échantillons sont conditionnés puis expédiés au laboratoire d'analyse, où les teneurs foliaires en N, P, K, Ca, Mg et Cl (en % par rapport à la matière sèche) sont déterminées par double calcination.

Compte-tenu des difficultés de prélèvement des folioles et du coût des analyses en laboratoire, le diagnostic foliaire n'est réalisé que sur un nombre limité de parcelles. Notre objectif étant de représenter l'évolution des cocotiers dans le système de culture le plus fréquent et ce dans un type de sol comparable à celui de la station de recherche VARTC (Santo), on a sélectionné au sein de l'échantillon de parcelles décrit dans la zone Centre-Est, un ensemble de parcelle représentant les différents stades de développement des cocotiers dans la trajectoire agropastorale.

La nutrition des cocotiers dépend de leur densité sur la parcelle, aussi pour pouvoir utiliser le barème des teneurs critiques établies en grande plantation, on s'est placé dans une gamme de densité comparable, en ne retenant que des parcelles paysannes pour lesquelles la densité de cocotiers était égale à 150 ± 30 cocotiers.ha⁻¹. Au final, un échantillon de 9 parcelles a été retenu pour représenter une période d'environ 40 ans (de 8 à 46 ans à compter de la plantation des cocotiers) de la trajectoire agropastorale dans la zone de plateau de Malo (tableau 8).

b-3) Méthode d'estimation des attaques de parasites et ravageurs

Une synthèse des différents symptômes correspondant aux attaques des principaux parasites et ravageurs présents au Vanuatu a été réalisée à partir des descriptions de référence (de Taffin, 1998). Elle a été utilisée lors des enquêtes de terrain pour mettre en évidence l'éventuelle présence de parasites/ravageurs susceptibles de limiter la production des cocotiers. Des enquêtes informelles avec les exploitants ont complété ces informations.

Par ailleurs, sur les différentes parcelles décrites au cours de la phase de caractérisation des systèmes de culture, on a observé l'existence ou pas de symptômes de carence minérale, en confrontant l'aspect des cocotiers sur ces parcelles à celui de cocotiers carencés sur les planches photographiques d'ouvrage de référence (de Taffin, 1998).

Les différents dispositifs de parcelles sur lesquelles ont été mesurées les facteurs pour estimer la production en coprah sur les parcelles paysannes et l'état nutritionnel des cocotiers, sont récapitulés dans le tableau 8. Les résultats de l'évaluation de la production des cocotiers sur les parcelles paysannes sont présentés dans les pages suivantes.

Tableau 8 : Les différents dispositifs de mesures pour évaluer la production des cocotiers dans les systèmes de culture paysans.

Facteur étudié	Trajectoire	Nombre de parcelles	Période du cycle des cocotiers considérée & gamme de densité des cocotiers
Production des cocotiers	agropastorale	20	0 à + de 60 années après la plantation des cocotiers. Densité de 111 à 277 cocotiers.ha ⁻¹
	agroforestière	6	
Nutrition des cocotiers	agropastorale	9	0 à 50 années après la plantation des cocotiers Densité 150 cocotiers.ha ⁻¹

c) Résultats : la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo

c-1) Les facteurs déterminants de la production en coprah sur les parcelles paysannes

c-1-1) Les composantes du rendement moyen sur les parcelles paysannes

A partir de l'observation de la charge des cocotiers, on estime que les cocotiers implantés sur les parcelles paysannes de la zone Centre-Est de Malo pour une densité moyenne de 160 cocotiers.ha⁻¹ produisent en moyenne 47 noix par an (entre 22 et 83 noix par an) (tableau 9).

Avec l'hypothèse d'une quantité moyenne et constante de 156 g de coprah par noix, les parcelles paysannes de la zone Centre-Est de Malo produisent ainsi potentiellement 1,89 et 0,47 t de coprah.ha⁻¹.an⁻¹, soit une production moyenne de 1,13 t de coprah.ha⁻¹.an⁻¹ (tableau 9).

Tableau 9: les composantes du rendement sur les parcelles de cocotiers paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

Composantes du rendement	moyenne	CV %	Max	Min
Nombre de Noix.cocotier ⁻¹ .an ⁻¹	46.	34.8	82.8	22.7
Densité nombre de cocotiers.ha. ⁻¹	160	23	277	111
Production potentielle t coprah.ha. ⁻¹ .an ⁻¹	1.13	30.4	1.89	0.47

c-1-2) Comparaison avec la production moyenne des GVT en condition de grande culture

L'ajustement sigmoïde réalisé sur les données du VARTC²⁴ conduit à une phase de production maximale dont le niveau de production est de 83 noix par cocotier et par an pour une densité de 143 cocotiers par hectare et une teneur moyenne de 176 g de coprah par noix (figure 19). Les grandes plantations de GVT sur les sols de plateaux du Vanuatu semblent ainsi atteindre un potentiel de production de l'ordre de 2t de coprah.ha⁻¹.an⁻¹. Le potentiel de production des grandes plantations correspondrait ainsi quasiment au double du niveau de production moyen estimé pour les parcelles paysannes (avec l'hypothèse d'une teneur en coprah par noix constante et égale à 156 g).

c-1-2) Effet du système de culture sur la production en coprah des parcelles paysannes

La production potentielle en coprah (avant la chute des noix)

La production potentielle de coprah moyenne sur les parcelles paysannes de la trajectoire agroforestière (1 t.ha⁻¹.an⁻¹) apparaît légèrement plus importante que celle des parcelles de la trajectoire agropastorale (1,29 t.ha⁻¹.an⁻¹, c.v= 70%) (tableau 10). Le faible nombre de parcelles représentant la trajectoire agroforestière (n=6) ne permet cependant pas de conclure sur les différences de production potentielle en coprah existant entre les systèmes de culture paysans.

Tableau 10 : Effet du système de culture sur la production potentielle en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

Trajectoire	nombre de parcelles	moyenne	CV %	Max	Min
Agropastorale (SDC I)	20	1,08	28	1,44	0,47
Agroforestière (SDC 3)	6	1,29	34	1,89	0,7

Pour ces deux trajectoires, l'évolution de la production potentielle en coprah au cours du développement des cocotiers semble évoluer de la même manière, mais le faible nombre de données concernant la trajectoire agroforestière ne permettant pas de retracer l'évolution de la production potentielle au cours du développement des cocotiers, il est impossible de s'en assurer (figure 20)

²⁴ Ces données non publiées sont issues de la base de données IRHO –CIRAD-CP.

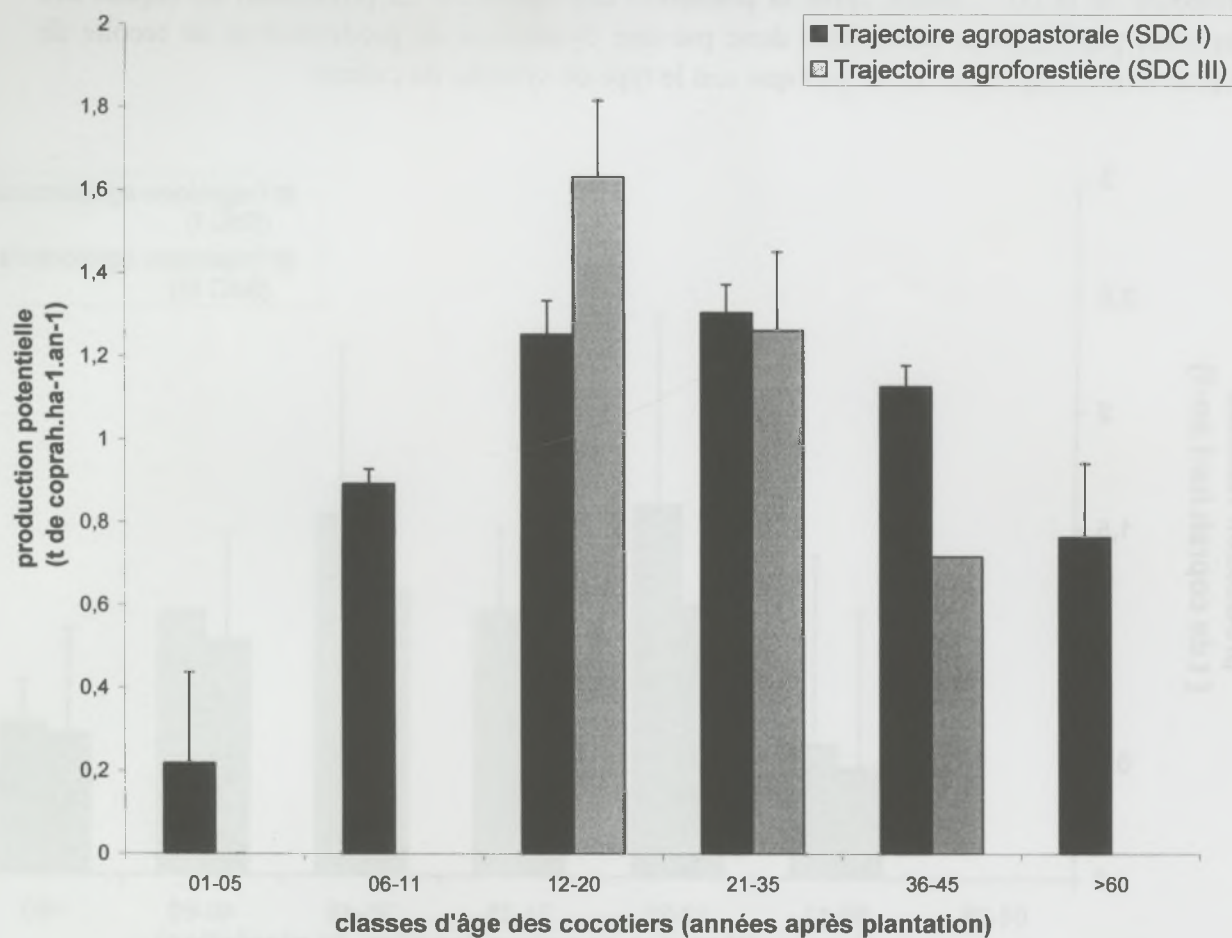


Figure 20: Evolution de la production potentielle (en équivalent coprah) au cours du développement des cocotiers pour les trajectoires agropastorale et agroforestière (SdC I et III-IV).

La production de coprah commercialisée en coprah (récoltée pour la vente)

La production de coprah moyenne récoltée sur les parcelles paysannes de la trajectoire agropastorale ou agroforestière sont comparables (SDC I et III-IV), $0,98 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (c.v= 70%) dans la trajectoire agropastorale et $0,94 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ dans la trajectoire agroforestière (c.v= 80%) (tableau 11).

Tableau 11 : Effet du système de culture sur la production de coprah récoltée sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

Trajectoire	nombre de parcelles	moyenne	CV %	Max	Min
Agropastorale (SdC I)	73	0,98	71,00	2,45	0,00
Agroforestière (SdC III-IV)	29	0,94	80,00	2,63	0,00

Les systèmes de culture agropastoral et agroforestier présentent le même type d'évolution de la production en coprah récoltée au cours du développement des cocotiers (figure 21). La production des cocotiers est récoltée à partir de la classe d'âge 6-11 ans, la quantité récoltée augmente ensuite jusqu'à atteindre un niveau de production maximale situé autour de 1,5 t de

coprah.ha⁻¹ vers la 20^{ème} année. Elle se maintiendrait entre 1 et 1,5 t avant de diminuer aux alentours de la 60^{ème} année après la plantation des cocotiers. La production en coprah des parcelles paysannes se caractérise donc par une dynamique de production et de récolte de coprah à très long terme, et ce quel que soit le type de système de culture.

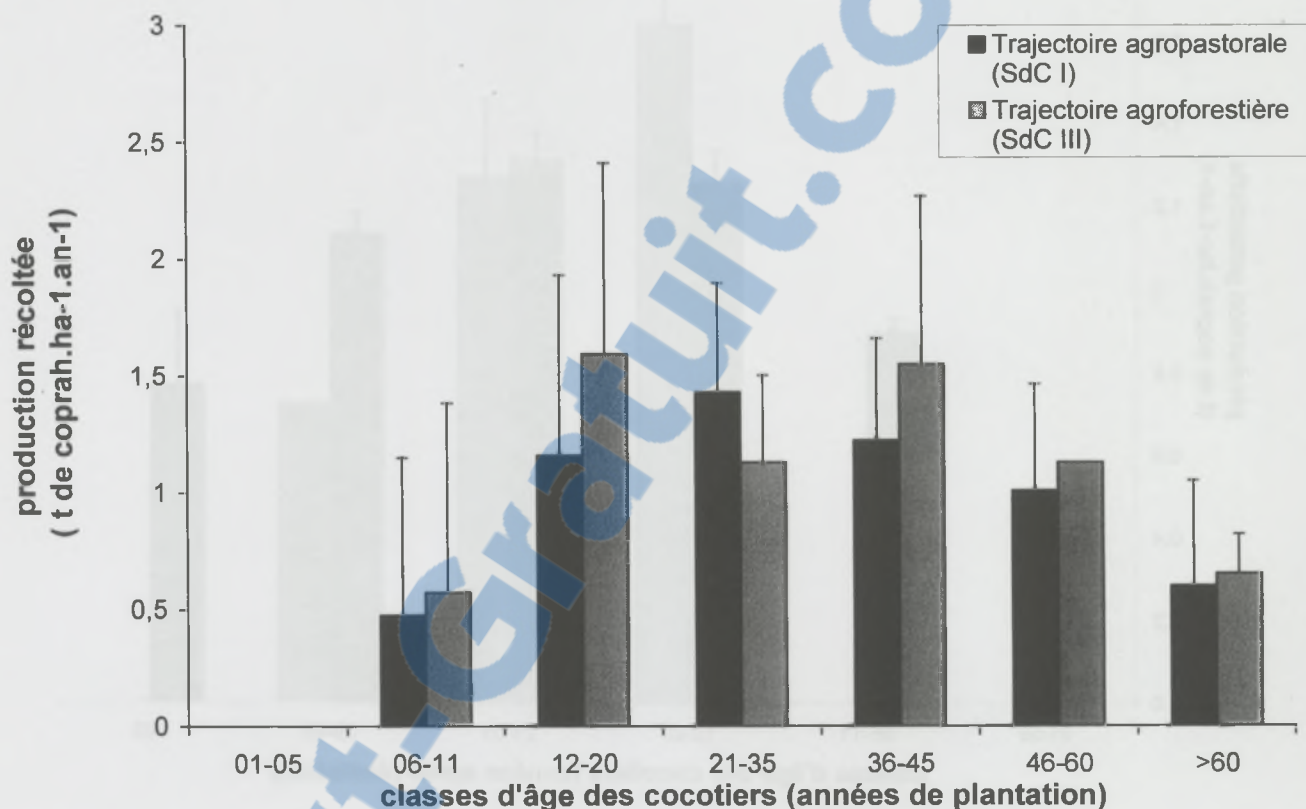


Figure 21: Evolution de la production de coprah récoltée au cours du développement des cocotiers pour les trajectoires agropastorale et agroforestière (SdC I et III-IV).

Pour une même classe d'âge des cocotiers, on n'observe pas de différence significative entre la production de coprah moyenne des parcelles des trajectoires agropastorale et agroforestière (figure 21). La fréquence de récolte est comparable pour les parcelles des trajectoires agropastorale et agroforestière. La production de coprah récoltée sur les parcelles de cocotiers ne semble donc pas significativement influencée par les associations mises en œuvre, susceptibles de plus ou moins limiter la facilité de récolte des noix sur les parcelles paysannes. Il semble que ce soit plutôt du côté des objectifs assignés aux différentes parcelles, ainsi que de la production des espèces associées, que se situent les différences entre les parcelles des trajectoires agropastorale et agroforestière.

On recherche alors la hiérarchie des facteurs déterminant la production potentielle de coprah et son évolution au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.

c-1-4) facteurs déterminant la production en coprah sur les parcelles paysannes de cocotiers.

La teneur en coprah par noix étant considérée comme constante, la production en coprah est déterminée par la densité de cocotiers et le nombre de noix produites par cocotier et par an (NN/an).

Ni la densité observée, ni la densité originale de plantation des cocotiers ne semblent liées à la production en coprah des parcelles paysannes de Malo (figure 22). La gamme de densité explorée dans cet échantillon de parcelles (entre 111 et 277 cocotiers par ha) ne correspondrait pas à des seuils de densité critiques pouvant influencer sur la production des parcelles paysannes.

Le nombre de noix produites par cocotier et par an (NN.an^{-1}) apparaît donc logiquement comme fortement corrélé ($r^2 = 0.85$) à la production en coprah des parcelles paysannes de Malo (figure 23). La composante du rendement NN.an^{-1} apparaît ainsi comme le premier facteur déterminant la production de coprah sur les parcelles paysannes de Malo.

Le nombre de noix produites par cocotier et par an (NN.an^{-1}) résultant de nombreuses interactions, il nous faut maintenant rechercher les facteurs qui l'influencent.

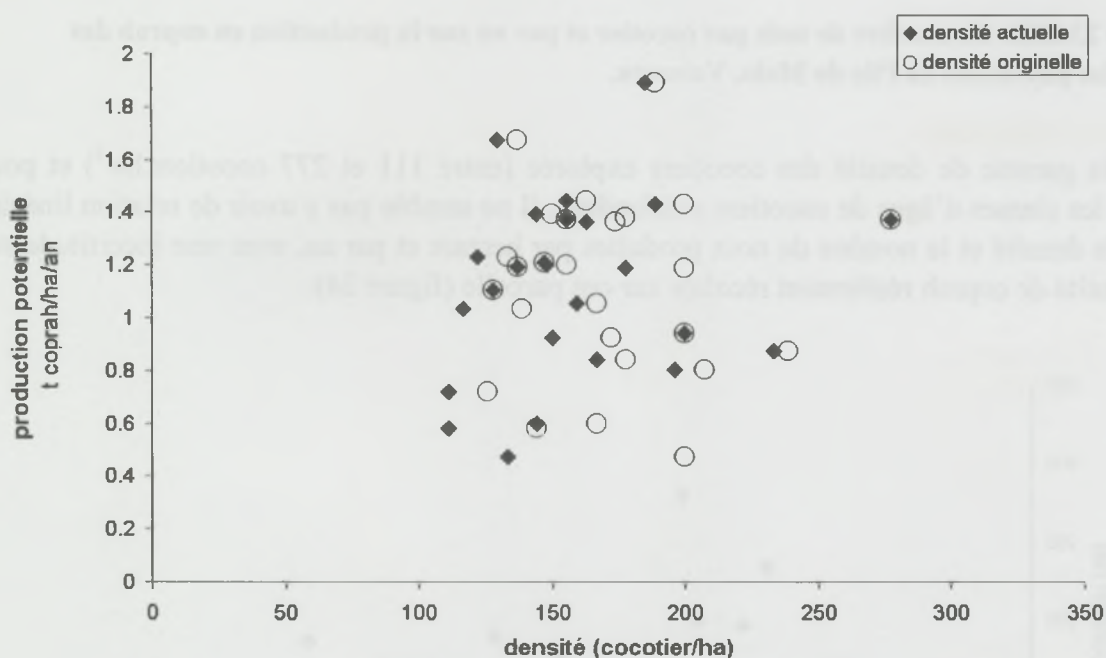


Figure 22: Effet de la densité de plantation des cocotiers sur la production en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

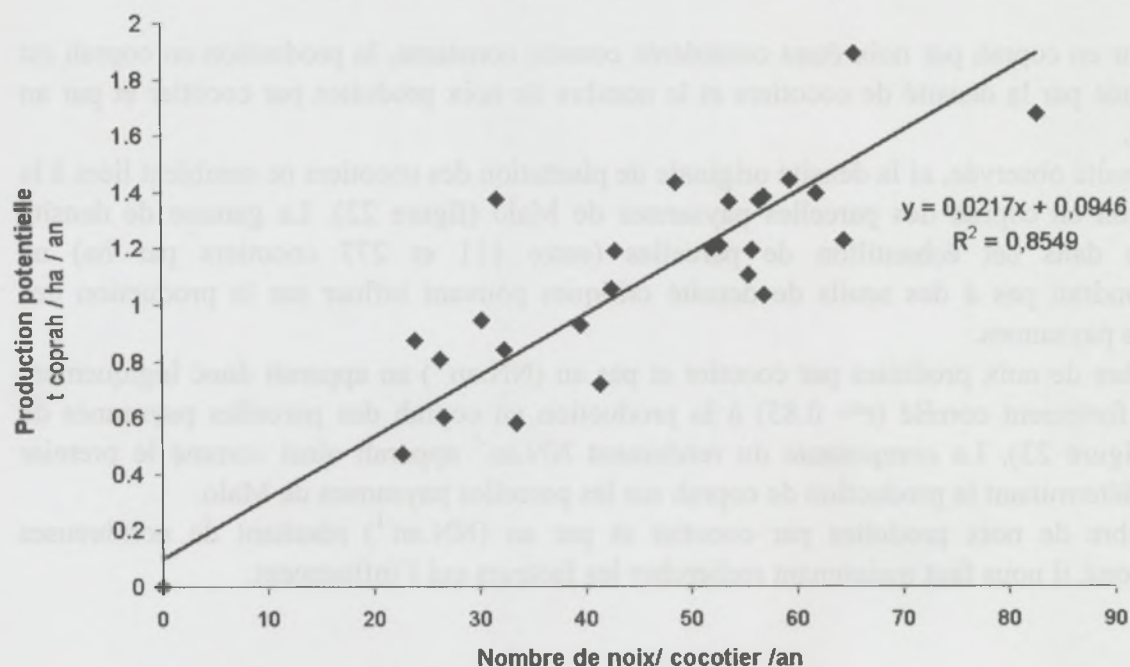


Figure 23: Effet du nombre de noix par cocotier et par an sur la production en coprah des parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

Dans la gamme de densité des cocotiers explorée (entre 111 et 277 cocotiers.ha⁻¹) et pour toutes les classes d'âges de cocotiers confondues, il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre la densité et le nombre de noix produites par hectare et par an, avec une incertitude sur la quantité de coprah réellement récoltée sur ces parcelles (figure 24).

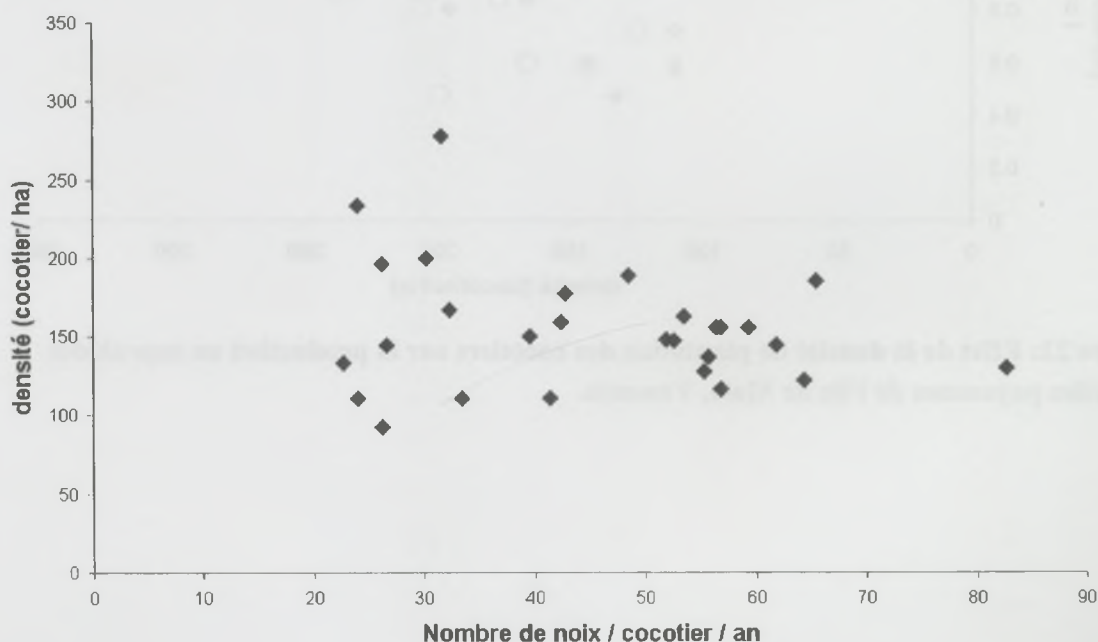


Figure 24: Relation entre densité et nombre de noix produites par cocotier et par an sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

L'âge des cocotiers a évidemment un effet significatif sur le nombre de noix produites par cocotier et par an (NN.an^{-1}) et ce quelque soit les conditions de culture des cocotiers. Un ajustement de type Log Normal (fonction qui passe par un maximum avant de décroître de manière très progressive) a été choisi pour décrire la relation entre le nombre de noix produites et l'âge des cocotiers. Cette relation est caractérisée par un fort coefficient de corrélation ($r^2 = 0,79$).

L'âge des cocotiers interviendrait sur l'évolution de la production essentiellement par l'intermédiaire de NN.an^{-1} mais aussi, dans une moindre mesure, par l'intermédiaire de l'évolution de la densité au cours du développement des cocotiers (voir figure 11 dans le chapitre II-3-2-2). L'évolution de la densité contribue mais ne détermine pas l'évolution de la production sur les parcelles paysannes ; la densité de plantation décroît légèrement au cours du développement des cocotiers et le taux de chute des cocotiers²⁵ atteint 10 % aux alentours de la 40^{ème} année (figure 25).

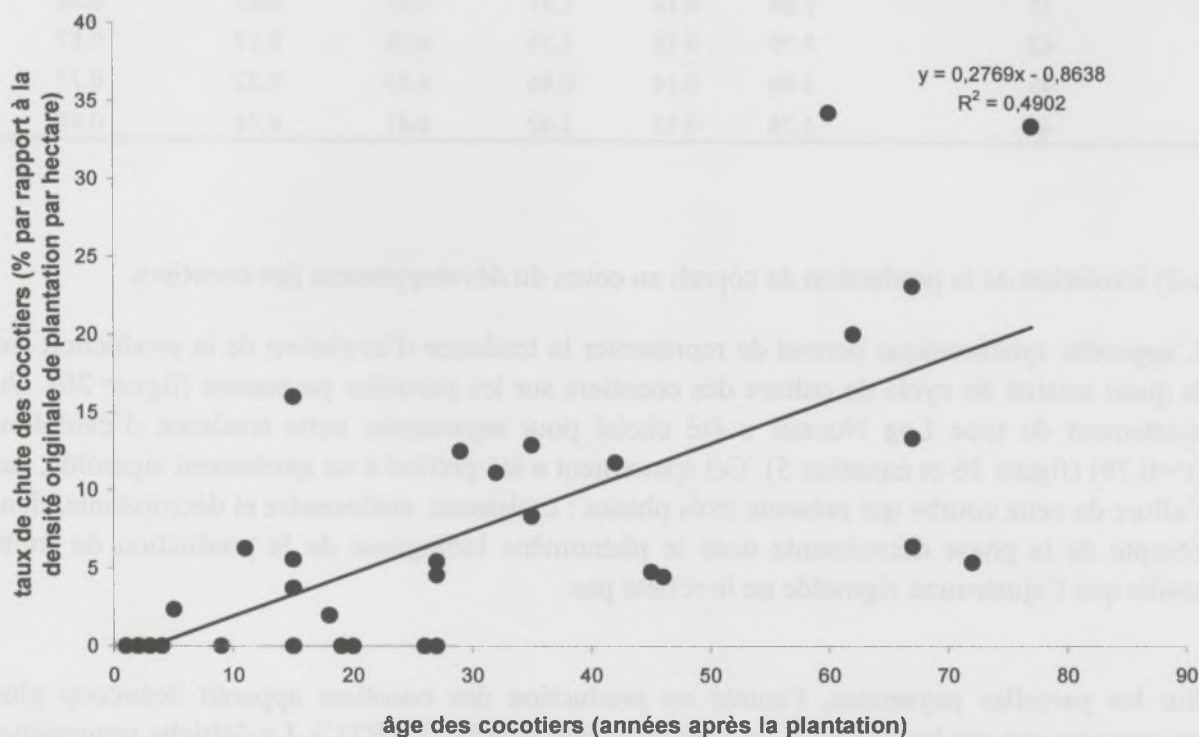


Figure 25: Evolution de la densité de plantation et du taux de chute des cocotiers au cours du temps sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu.

Sur les sols de plateaux, l'état nutritionnel des cocotiers est convenable et ce quelque soit l'âge des cocotiers et l'élément considéré (tableau 12). Les détails relatifs à l'état nutritionnel des cocotiers sur les parcelles paysannes sont donnés en annexe 9, b. L'évolution de la production au cours du temps ne résulte donc pas de l'apparition d'un déséquilibre du bilan nutritionnel des cocotiers sur les parcelles paysannes de la zone de plateau.

²⁵ Le taux de chute des cocotiers est calculé à partir de: $[100 - (\text{densité de plantation actuelle des cocotiers} / \text{densité de plantation originale des cocotiers}) * 100]$. Le taux de chute intègre la réduction de la densité des cocotiers due aux événements cycloniques.

Tableau 12: état nutritionnel des cocotiers sur sol de plateau (SdC I) : résultats du diagnostic foliaire.

	Diagnostic foliaire (calcination double – teneurs en % de matières sèches)					
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cl %
Barème référence pour les cocotiers adultes (d'après IRHO, 1993)	1,8	0,12	0,88		0,20	0,40
âge des cocotiers sur les parcelles paysannes						
8	1.66	0.14	0.94	0.38	0.33	0.49
8	1.78	0.13	1.14	0.40	0.23	0.42
20	1.74	0.14	1.29	0.35	0.18	0.80
21	1.67	0.14	1.15	0.34	0.22	0.72
35	1.74	0.14	0.98	0.48	0.25	0.84
35	1.64	0.14	1.31	0.43	0.23	0.88
42	1.79	0.15	1.33	0.38	0.17	0.87
45	1.80	0.14	0.66	0.45	0.32	0.73
46	1.78	0.15	1.42	0.41	0.16	0.88

c-2) Evolution de la production de coprah au cours du développement des cocotiers

L'approche synchronique permet de représenter la tendance d'évolution de la production sur la quasi totalité du cycle de culture des cocotiers sur les parcelles paysannes (figure 26). Un ajustement de type Log Normal a été choisi pour représenter cette tendance d'évolution ($r^2=0,79$) (figure 26 et équation 5). Cet ajustement a été préféré à un ajustement sigmoïde, car l'allure de cette courbe qui présente trois phases : croissante, stationnaire et décroissante, tient compte de la phase décroissante dans le phénomène biologique de la production de fruits tandis que l'ajustement sigmoïde ne le reflète pas.

Sur les parcelles paysannes, l'entrée en production des cocotiers apparaît beaucoup plus progressive que sur les parcelles de plantation industrielle (VARTC). La défriche progressive de la jachère arborée dans laquelle les jeunes cocotiers sont implantés depuis des périodes de durée variable aurait pour conséquence une entrée en production très progressive des parcelles paysannes, par rapport aux « grandes plantations » où la plantation des cocotiers est réalisée dans des conditions qui leur sont favorables et homogènes sur toute la surface de la parcelle. Environ 10 années après la plantation des cocotiers, on atteint un niveau de production (environ 30 noix.cocotier⁻¹.an⁻¹) correspondant à la moitié du niveau de production maximal. Du fait de l'entrée en production très progressive des cocotiers sur les parcelles paysannes, cette valeur a uniquement une valeur de repère. La quasi-totalité des cocotiers entrerait en production vers la 15^{ème} année et la production maximale de la parcelle serait atteinte vers la 25^{ème} année. Après la 35^{ème} année, la production commencerait doucement à décliner, pour atteindre vers la 60^{ème} année, des niveaux de production correspondant à la moitié de la production maximale.

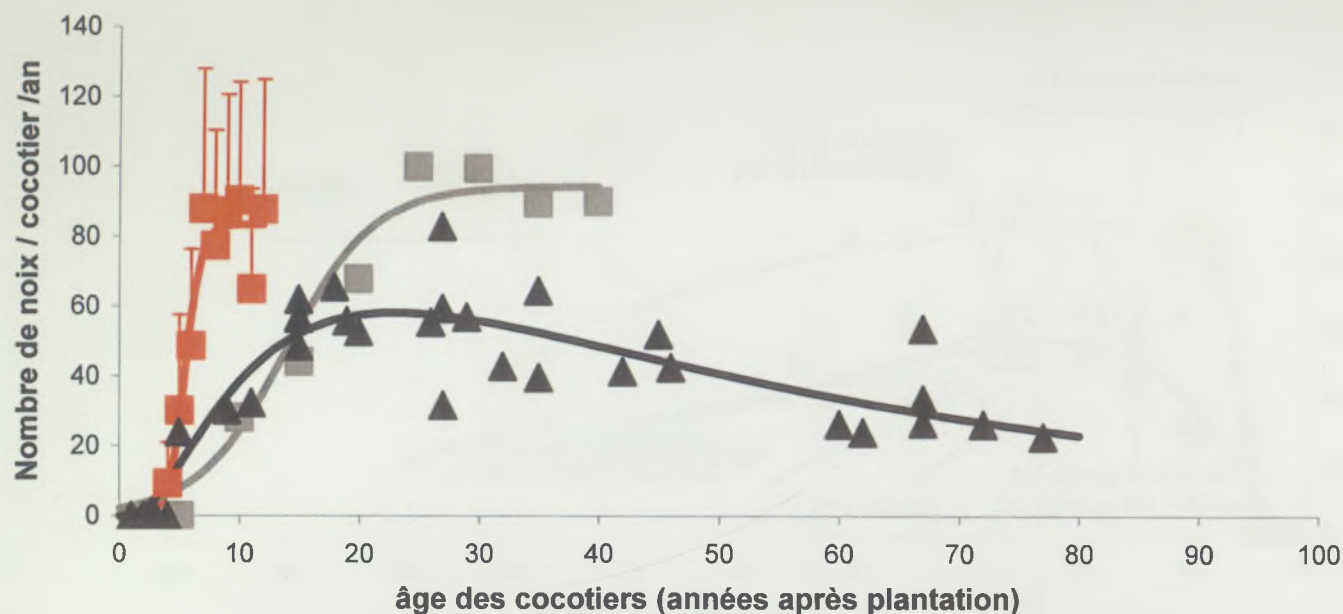


Figure 26 : Tendance d'évolution de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo.

Équation 5 : ajustement sigmoïde

$$y = a \times \exp \left(-\frac{1}{2} \times \left(\frac{\ln \left(\frac{x}{b} \right)}{c} \right)^2 \right)$$

Cette tendance d'évolution n'est toutefois pas corroborée par les dires d'exploitants de l'île de Malo qui ne constatent pas de déclin de la production de leurs cocotiers avant leur 60^{ème} année. La représentation de l'évolution de la production au cours du cycle des cocotiers doit donc être considérée comme une indication de la tendance d'évolution. Elle ne permet notamment pas de savoir précisément à quel moment du cycle des cocotiers la production commence réellement à décliner.

L'analyse de l'évolution de la production a été réalisée à partir d'un échantillon d'une trentaine de parcelles paysannes, qui couvre une importante gamme de densité de cocotiers (de 111 à 277 cocotiers.ha⁻¹) ainsi que différents types de structure de la végétation sur les parcelles. A l'intérieur même des différentes classes d'âge représentées dans cet échantillon il existe une grande variabilité de la production. Cette variabilité intra classe d'âge pourrait être expliquée à la fois par un effet « densité » des cocotiers et par un effet « structure du peuplement » (figure 27). La variabilité de la production, induite par ces deux facteurs, pourrait expliquer les difficultés à mettre en évidence l'évolution de la production au cours du développement des cocotiers à partir de cet échantillon restreint de parcelles.

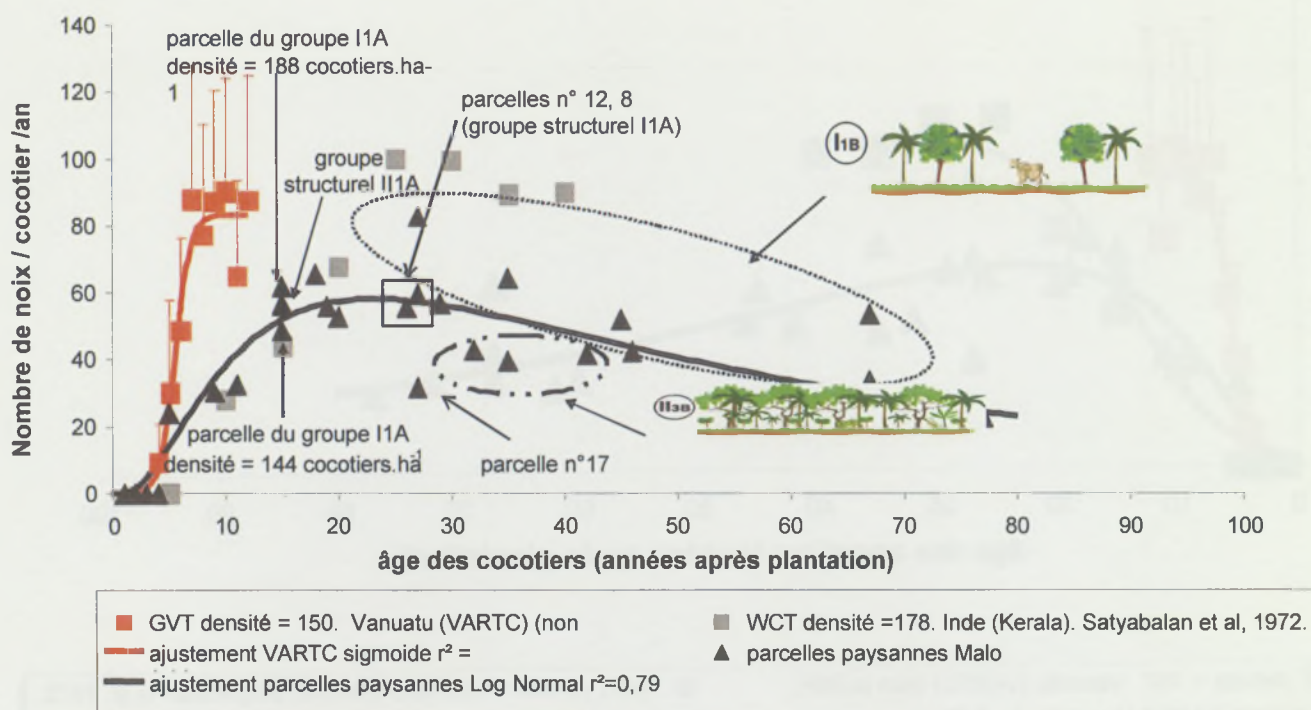


Figure 27 : Influence de la structure de la végétation et de la densité des cocotiers sur les tendances d'évolution de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de l'île de Malo, Vanuatu

A l'intérieur d'une même classe d'âge des cocotiers, plus la densité de cocotiers serait élevée moins le nombre de noix produites par cocotier et par an serait important. Ainsi par exemple, la parcelle 17 (repérée sur la figure 27) se caractérise à la fois par très une forte densité des cocotiers ($277 \text{ cocotiers.ha}^{-1}$) et par un niveau de production inférieur à la moyenne ; environ 30 noix produites par an pour des cocotiers d'une trentaine d'années qui produisent alors en moyenne 54 noix par an. Les parcelles 12 et 8 (encadrées sur la figure 27) qui appartiennent au même groupe structurel que la parcelle 17 (I_{1A} ; association de cocotiers avec des espèces fruitières situées dans la même strate, le couvert herbacée est pâturé par des bovins) mais avec des densités de plantation des cocotiers presque deux fois moins importantes (155 par hectare) présentent une production quasiment deux fois plus importante (57 NN.an^{-1} pour la parcelle 12 et 60 pour la parcelle 8).

De la même façon, un effet « structure de la végétation » pourrait expliquer des écarts de production entre des parcelles situées dans la même tranche d'âge (figure 27). Lorsque les cocotiers sont dominés par d'autres espèces sur la parcelle, le nombre de noix produit serait moins important. On observe ainsi par exemple que les trois parcelles situées sous la courbe tendance de production (entourées d'un cercle en figuré discontinu sur la figure 27) appartiennent toutes les trois au groupe structurel II_{3B} , caractérisé par un profil vertical composé de plusieurs strates où les cocotiers sont à la fois dominés et dominants (pour des densités observées comprises entre 111 et $177 \text{ cocotiers.ha}^{-1}$). Dans le groupe de parcelles qui est situé au dessus de la tendance de production (entouré d'un cercle en figuré continu sur la figure 27) les parcelles appartiennent au groupe structurel I_{1B} , qui se caractérise par un profil composé d'une unique strate, dans laquelle sont associées cocotiers et espèces fruitières (pour des densités de 122 à $148 \text{ cocotiers.ha}^{-1}$). Ces exemples laissent supposer que si pour une même classe d'âge des cocotiers, la densité de

plantation des cocotiers est élevée et/ou si les cocotiers sont dominés par d'autres espèces, le nombre de noix produites par cocotier serait moins important.

D'autres situations sont en revanche moins claires, par exemple des parcelles du groupe structurel II_{IA} (association régulière de cacaoyers avec les cocotiers) qui présentent une structure plus complexe mais aussi une production plus importante (pour des densités de plantations comprises entre 129 et 185 cocotiers par hectare) que les parcelles du groupe I_{IB} (une seule strate et des bovins pâurant). Un effet positif des cacaoyers sur la production des cocotiers pourrait exister. Dans les nombreuses études entreprises sur l'association cocotier/cacaoyer en grande plantation, il n'a pas été mis en évidence d'effet négatif des cacaoyers sur la production des cocotiers (Ramadasan *et al.*, 1978 ; Colas, 1997) et un effet positif a parfois été observé (Barrant, 1978).

Pour confirmer ou infirmer l'existence de ces effets et leur éventuelle interaction sur la production des cocotiers, il faudrait disposer, pour chaque classe d'âge des cocotiers, d'un plus grand nombre de parcelles paysannes pour lesquelles on aurait à la fois estimé la production et caractérisé la structure de la végétation. Pour des raisons de temps limité dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible de mesurer la production en coprah d'autres parcelles paysannes. L'existence d'une variabilité intra classe âge des cocotiers est un argument supplémentaire pour considérer l'ajustement obtenu (figure 26) avec précaution et uniquement comme une indication de la tendance d'évolution de la production en coprah au cours du cycle des cocotiers. Entre les deux valeurs extrêmes de 10 et 60 ans, les parcelles paysannes de Malo sont à considérer comme « en production » mais il n'est pas possible de situer plus précisément une phase de pleine production et le début de la sénescence.

Le maximum du niveau de production des parcelles paysannes correspond à environ 65 % du niveau de la production des « grandes plantations » de la même zone agroécologique. La production des cocotiers de la zone de plateau n'est pas limitée par une carence nutritionnelle. Les attaques parasitaires existent sur les parcelles paysannes, mais elles sont peu intenses et ne semblent pas limiter la production. Les exploitants ne s'en plaignent par ailleurs jamais, mais soulignent les pertes de noix dues aux dégâts causés par les rats.

L'explication la plus probable de l'écart entre les productions obtenues en plantation paysannes et en grandes plantations est la différence de pratiques au jeune âge des cocotiers. En grande plantation, les cocotiers sont implantés après une défriche totale de la forêt et fertilisés pendant les premières années. En plantations paysannes, les cocotiers sont implantés dans une jachère qui est progressivement défrichée et ils sont, pour une durée plus ou moins importante selon les choix des exploitants, en compétition avec les autres espèces pour l'utilisation des ressources du milieu, en particulier pour la lumière. Ces compétitions subies au jeune âge peuvent avoir un effet tout au long du cycle de production et constitue une hypothèse qui pourrait à elle seule ou combinée avec les hypothèses précédentes (cocotiers plantés à très forte densité et/ou dominés par d'autres espèces dans le profil) expliquer le niveau de production plus faible obtenu sur les parcelles paysannes.

La production potentielle des cocotiers en coprah ainsi que la production récoltée ne semble pas différer entre les trajectoires agropastorale ou agroforestière (SdC I ou SdC III-IV). Le cocotier y est associé à de nombreuses autres espèces qui assurent un éventail de productions utilisées à diverses fins et une production continue au cours du temps. L'évaluation de la production en coprah est donc insuffisante pour évaluer la production des parcelles paysannes, et il est donc indispensable d'intégrer l'évaluation de la production des espèces associées aux cocotiers.

Dans la section précédente, on a estimé la production de la plante dominante du système, on s'intéresse maintenant à l'évaluation de la production des autres catégories d'espèces qui composent le peuplement. Ces estimations de production correspondent à la deuxième étape de la démarche proposée pour évaluer la production des parcelles de cocotiers et son évolution dans les trajectoires paysannes.

III-2-3-2) Estimation de la production des espèces herbacées alimentaires sur les parcelles paysannes de cocotiers

a) Problématique de l'évaluation espèces herbacées alimentaires sur les parcelles paysannes

L'évaluation de la production des zones de jardins (ou de la catégorie d'espèces herbacées alimentaires) présente sur tout ou partie de la surface des parcelles de cocotiers soulève les mêmes difficultés méthodologiques que celles rencontrées pour évaluer la production de tout peuplement plurispécifique. Mais les dynamiques de production impliquées ici se situent sur des pas de temps plus courts - et donc plus facilement abordables - que celles qui caractérisent les espèces pérennes qui constituent l'essentiel du peuplement des parcelles de cocotiers.

Les cultures vivrières implantées sur tout ou partie de la surface des parcelles paysannes de cocotiers sont cultivées selon le modèle du « jardin mélanésien ». Une synthèse sur l'état des connaissances relatives au fonctionnement agroécologique de ces jardins est présentée en annexe 1 (voir aussi Morelli, 2003) ; pour la localisation et la composition de ces zones de jardins sur les parcelles de cocotiers de Malo se reporter au chapitre II. En moyenne une dizaine d'espèces, essentiellement à reproduction végétative, sont cultivées en association dans ces jardins (Greindl, 2000). Sur Malo, on retrouve en moyenne 6 espèces herbacées et 7 espèces ligneuses, pour une moyenne de 12,2 espèces au total, sans différence significative entre les jardins complantés ou pas de cocotiers (Morelli, 2003). Les bananiers et les papayers sont les espèces les plus fréquemment rencontrées (85% des jardins visités), puis viennent les ignames, les macabos, les choux canaques que l'on retrouve dans 70% des jardins visités (Morelli, 2003).

L'association d'espèces de nature différente, qui permet d'obtenir une production continue sur la parcelle, induit une imbrication complexe des cycles de culture des différentes espèces. Ne disposant que de peu de références sur la production de ces espèces et notamment pas de modèle de croissance, il est impossible de quantifier la production globale de la parcelle à partir d'une observation à un temps t car à cette date d'observation au mieux seule une partie de la production sera arrivée à maturité (figure 28).

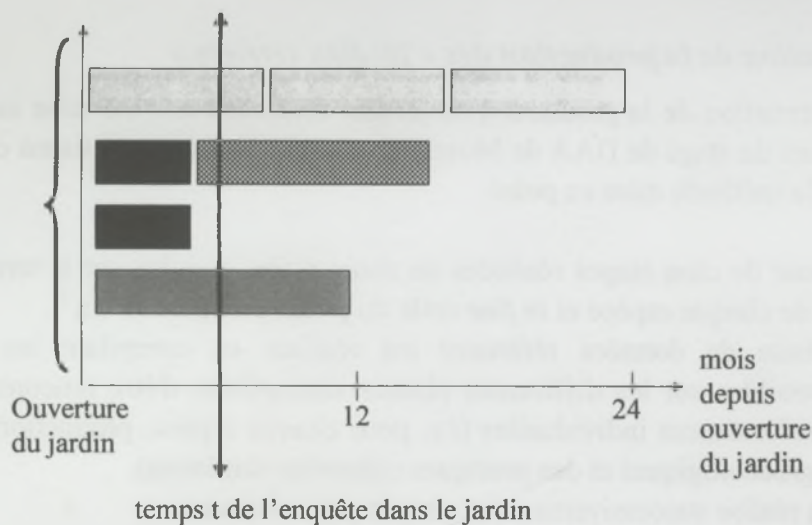


Figure 28 : Imbrication des cycles de culture des différentes espèces dans les jardins

La gestion « pied à pied » des espèces cultivées dans les jardins entraîne une très forte hétérogénéité spatiale (caractéristique de ce type de couvert) qui soulève des difficultés pour en évaluer la production. Rao et Coe (1991) remarquent en particulier que les méthodes d'échantillonnage classiquement utilisées pour l'évaluation de la productivité (carré de rendement, transect) ne sont pas adaptées pour l'étude de système complexe car elles ne permettent pas de représenter cette forte hétérogénéité spatiale. Pour intégrer cette particularité deux stratégies sont envisageables : (i) stratifier l'espace pour en représenter les différentes zones et leurs proportions respectives ou bien (ii) travailler sans échantillonnage sur l'ensemble de la surface de la parcelle (Rao et Coe, 1991). Les parcelles de jardins représentant des surfaces relativement petites (de l'ordre de 370 m²), on a donc choisi, dans cette étude, de travailler sur l'ensemble de la parcelle après avoir stratifié le peuplement de la parcelle (figure 28) (sur une parcelle de cocotiers, on travaille sur la surface totale de la zone en jardin).

P	0.5 m ²	I	I	I	I	Mc	0.75 m ²	Mc	Mc
M	0.65 m ²	M	I	0.85 m ²	M	0.7m ²	M	M	
I			C		C	M	M	I	
1 m ²	I	P	C		C	C	0.5 m ²	I	I
0.65 m ²	I	C		C	B	C	B	0.65 m ²	
I		Mc	C	0.6 m ²	C		C	I	I
B	I	Mc		C		C	B	P	P
Mc	M	0.5 m ²	C		C		B	0.6 m ²	Mc
B	M			I	I		Mc	Mc	
0.35 m ²	Mc		I	0.65 m ²	I	I	B	0.5 m ²	P

Figure 29: exemple de stratification du peuplement sur une parcelle de jardin théorique de 10*10m dans laquelle sont cultivées 6 espèces(extrait de Morelli, 2003)

I : Ignames (*Dioscorea* spp.), C : Choux canaques (*Abelmoschus manihot*), M : Macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), B : Bananier (*Musa* spp.), Mc : Manioc (*Manihot esculenta*) et P : Papayer (*Carica papaya*). La totalité de la surface de la parcelle de jardin étant cultivée, l'occupation de la surface par les différentes espèces est égale à 1.

b) Méthode d'estimation de la production des « jardins vivriers »

La méthode pour l'estimation de la production de jardins mélanésiens a été mise au point et testée sur Malo au cours du stage de DAA de Morelli C. (2003). Nous reproduisons ci dessous les grandes étapes de la méthode mise au point.

La méthode se compose de cinq étapes réalisées au cours d'une enquête sur le terrain, pour estimer la production de chaque espèce et *in fine* celle du jardin en $\text{kg.mois}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

Au préalable, une base de données référence est réalisée en compilant les données bibliographiques disponibles sur les différentes plantes susceptibles d'être rencontrées dans ces jardins et leurs performances individuelles (*i.e.* pour chaque espèce, production par pied dans des conditions agroécologiques et des pratiques culturelles similaires).

Puis, sur le terrain, on réalise successivement les cinq étapes suivantes :

1. Estimation de la surface du jardin (notée s et exprimée en m^2). Les méthodes d'estimation de la surface sont présentées en annexe 3. Réalisation d'un schéma représentant l'organisation spatiale des différentes espèces dans le jardin (figure 29).
2. Estimation de l'occupation au sol par les différentes espèces cultivées dans le jardin
 - (a) On estime visuellement le pourcentage d'occupation de la surface de jardin (s) pour l'ensemble des espèces. Ce pourcentage est noté O et compris entre 0 (le jardin n'est pas cultivé) et 1 (la totalité de la surface du jardin est cultivée, *i.e.* occupée par les cultures) (figure 29).
 - (b) Pour chaque espèce cultivée dans le jardin, on estime son pourcentage d'occupation de la surface de jardin (noté p_j). Pour cela on réalise d'abord un schéma représentant la répartition de l'espèce j dans le jardin (*i.e.* sur lequel on repère les différentes zones du jardin où l'espèce j est cultivée) (figure 29). A l'aide de ce schéma, on estime la proportion de la surface de jardin occupée par l'espèce j (o_j compris entre 0 et 1) (tableau 13)
 - (c) On détermine la proportion des différentes espèces cultivées dans le jardin en ajustant entre elles les estimations de pourcentage d'occupation de chaque espèce, de telle manière à ce que la somme du pourcentage d'occupation de chaque espèce soit égale au pourcentage d'occupation de la surface de jardin par l'ensemble des espèces (équation 6, et tableau 13).

$$\text{Équation 6: } O = \sum o_j$$

Tableau 13 : exemple de calcul de la densité et de l'occupation du jardin par les différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28

Espèce	Nombre de pieds	Densité moyenne de chaque espèce $d_j \text{ pieds.m}^{-2}$	Proportion de l'espace du jardin occupée o_j
Igname	30	$(24/30 \times 0,65) + (6/30 \times 0,85) = 0,70$	$0,06 + (0,08 \times 3) = 0,30$
Choux canaques	26	$(25/26 \times 0,6) + (1/26 \times 1) = 0,60$	$0,25 + 0,01 = 0,26$
Manioc	15	$4/15 \times 0,75 + 3/15 \times 1 + 5/15 \times 0,6 + 3/15 \times 0,35 = 0,65$	$0,04 + 0,02 + 0,05 + 0,01 + 0,03 = 0,15$
Macabo	14	$(3/14 \times 0,65) + (7/14 \times 0,7) + (4/14 \times 0,5) = 0,65$	$0,03 + 0,07 + 0,04 = 0,14$
Bananier	9	$(5/9 \times 1) + (4/9 \times 0,5) = 0,75$	$(0,01 \times 3) + (0,02 \times 3) = 0,09$
Papayer	6	$(4/6 \times 1) + (2/6 \times 0,5) = 0,85$	$(0,01 \times 2) + (0,02 \times 2) = 0,06$
Total	100	$\sum p_i \times d_i = 0,673$	Total = $\sum p_i = 1,00$

3. Estimation de la densité de chaque espèce cultivée dans le jardin

- (a) On estime la densité de l'espèce j dans chacune des zones établies sur le plan du jardin. Selon la taille et le nombre de pied de l'espèce, la densité peut être plus facilement estimée en comptant le nombre de plants dans chaque zone ou en mesurant les distances entre pieds sur une placette de surface connue.
- (b) On calcule la densité moyenne de l'espèce j (d_j exprimée en pieds.m^{-2}) dans le jardin en réalisant la moyenne de la densité de l'espèce j dans les différentes zones où elle est cultivée (tableau 13).

4. Estimation de la production de chaque pied par espèce en estimant la quantité produite soit par pesée sur le terrain (m_j = masse de l'espèce j exprimée en kg/pied), soit à partir d'une référence bibliographique si cette mesure est impossible.

5. Estimation de la durée du cycle de production de chaque espèce (t_j en mois).

La durée du cycle de production correspond au nombre de mois où la plante reste en place avant d'être entièrement récoltée. On distingue donc (i) des plantes à phase de production unique et (ii) les plantes à phase de production continue.

- (i) Pour les espèces à phase de production unique qui donnent en fin de phase de croissance un produit unique exporté dans sa totalité (par exemple le manioc, les ignames, ananas), le temps de culture est égal à la durée de leur cycle de croissance (la phase de production est assimilée à la phase de croissance).
- (ii) Pour les plantes à production continue (comme les bananiers et les papayers), qui donnent à partir d'un certain stade de leur cycle de croissance un produit à fréquence plus ou moins régulière sur une période pouvant s'étendre sur plusieurs mois, le temps de culture correspond à la durée de la phase de croissance auquel s'ajoute la durée de la phase de production (*i.e.* le nombre de mois précédant l'entrée en production auquel s'ajoute le nombre de mois écoulés entre chaque récolte multiplié par le nombre de récolte).

La durée du cycle de production est renseignée par enquête auprès de l'exploitant ou extraite de la bibliographie (un exemple est présenté dans le tableau 14).

6. Estimation du rendement.

- (a) Pour chaque espèce, on calcule le rendement moyen (r_j exprimé en $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) (équation 7).

$$\text{Équation 7 : } r_j = d_j * m_j / t_j.$$

avec r_j : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$; d_j : pied.m^{-2} ; m_j : kg.pied^{-1} ; t_j : mois du cycle de production de l'espèce j .

- (b) On calcule ensuite la productivité de chaque espèce dans le jardin (p_j en kg.mois^{-1}), rapportant le rendement de l'espèce j à l'espace occupé par cette espèce dans le jardin (équation 8 et tableau 14).

$$\text{Équation 8 : } p_j = r_j * o_j * s$$

avec p_j : kg.mois^{-1} , r : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$, o_j compris entre 0 et 1 ; s : m^2 .

- (c) La productivité totale du jardin (P_t en kg.mois^{-1}) est obtenue en sommant les estimations de productivité réalisées pour chaque espèce du jardin (équation 9 et tableau 14).

$$\text{Équation 9: } P = \sum p_j$$

avec P et p_j : kg.mois^{-1}

(d) Le rendement mensuel moyen du jardin (R en $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) est calculé en rapportant la productivité totale du jardin à sa surface (équation 10 et dans le tableau 14).

$$\text{Équation 10: } R = P/s$$

avec R : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$; P : kg.mois^{-1} ; s : m^2

(e) Le rendement mensuel des espèces étant rarement spécifié dans la littérature, pour pouvoir comparer la production des jardins avec celle observée dans d'autres systèmes on estime le rendement moyen annuel du jardin (R' en $\text{t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) (équation 11).

$$\text{Équation 11 : } R' = R * 120$$

avec R' : $\text{t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ et R : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$

Tableau 14: exemple de calcul de la productivité des différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28

Espèce	Masse produite par espèces (m_j = en kg/pied),	Durée du cycle de production (t_j en mois)	Rendement moyen (r_j en $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$)	Productivité de l'espèce (p_j en kg.mois^{-1})
Igname	4	10	$0,30*4/10=0,12$	$0,12*0,30*100=3,6$
Choux canaques	0,5	7 (1 mois de production à partir de 6 mois)	$0,26*0,5/7=0,02$	$0,02*0,5*100=1$
Manioc	5	10	$0,10*5/10=0,005$	$0,005*0,10*100=0,05$
Macabo	2	10	$0,14*2/10=0,028$	$0,028*0,14*100=0,4$
Bananier	10	12	$0,09*10/12=0,075$	$0,075*0,09*100=0,67$
Papayer	2	7 (1 mois de production à partir de 6 mois)	$0,06*2/7=0,02$	$0,02*0,06*100=0,12$
				Productivité totale $P = \sum p_i = 5,84$
				Rendement total : $R = P/s$ $R=5,84/100$ $= 0,06 \text{ kg. m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$

7. Prise en compte de la durée du cycle de production des espèces cultivées dans le jardin

La plupart des espèces n'étant présentes que quelques mois par an dans le jardin (leur cycle de culture étant inférieur à 1 an), si après la récolte on ne remplace pas ces espèces par les mêmes, l'estimation du rendement moyen annuel est surévaluée.

Pour corriger cette surévaluation on attribue à chaque espèce, un coefficient correcteur (c) qui permet de prendre en compte le temps de présence réel de chaque espèce dans le jardin. Le coefficient correcteur d'une espèce correspond au rapport entre son temps de culture (durée de cycle de production) et le nombre de mois de l'année.

Ce coefficient permet alors de calculer :

- (a) La productivité corrigée de chaque espèce dans le jardin (p_{jc} en kg.mois^{-1}) (équation 12).

$$\text{Equation 12 : } p_{jc} = p_j * c = r * p * s * (t/12).$$

avec p_{jc} et p_j : kg.mois^{-1} ; r : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$; p entre 0 et 1 ; s : m^2 et t : mois du cycle de l'espèce j .



(b) la productivité corrigée du jardin (P_c en kg.mois^{-1}) (équation 13).

$$\text{Équation 13: } P_c = \sum p_{jc}$$

avec p_{jc} et p_j : kg.mois^{-1}

(c) le rendement corrigé du jardin (R_c en $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) (équation 14).

$$\text{Équation 14: } R_c = P_c/s$$

avec R_c : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$; P_c : kg.mois^{-1} et s : m^2

(d) le rendement annuel corrigé du jardin (R'_c en $\text{t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) (équation 15)

$$\text{Équation 15 : } R'_c = R_c * 120.$$

avec R'_c : $\text{t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ et R_c : $\text{kg.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$

Tableau 15: exemple de calcul de la productivité corrigée des différentes espèces cultivées sur la parcelle de jardin présentée figure 28.

Espèce	Coefficient correcteur ($c_j = t/12$)	Productivité de l'espèce (p_{jc} en kg.mois^{-1})	
Igname	10/12	$3,6 * 10/12 = 3$	
Choux canaques	7/12	$1 * 7/12 = 0,6$	
Manioc	10/12	$0,05 * 10/12 = 0,04$	
Macabo	10/12	$0,4 * 10/12 = 0,33$	
Bananier	12/12	$0,67 * 12/12 = 0,67$	
Papayer	7/12	$0,12 * 7/12 = 0,07$	
		Productivité totale corrigée $P_{jc} = \sum p_{jc} = 4,7$	Rendement total corrigé $R_c = P_{jc}/s$ $R_c = 0,47/100 =$ $R_c = 0,05 \text{ kg. m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$ $R_c = 5,64 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$

Un exemple de calcul de la production d'un patch d'espèces herbacées alimentaires sur une parcelle de cocotiers est présenté en annexe 10.

c) Résultats

Les enquêtes pour estimer la production des jardins vivriers ont été réalisées sur un total de 126 parcelles, parmi lesquelles 23 parcelles situées dans la zone de plateau et représentant des jardins vivriers complantés de cocotiers. Une production moyenne de $23,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (c.v: 50%) a été calculé pour les jardins vivriers complantés de cocotiers (Morelli, 2003).

Une variabilité très importante caractérise ces résultats ainsi que ceux établis pour des jardins vivriers sans cocotier (production moyenne : $30,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$; c.v 70%). Cette variabilité correspond à une réalité de terrain qui serait à mettre en relation avec les différences existant entre les objectifs et les stratégies des exploitants (Morelli *et al.*, in prep). Il convient toutefois de remarquer que ces résultats restent à préciser. Ils correspondent à une production « potentielle », c'est-à-dire obtenue avec des données de production (poids par pied) plus souvent issues de la bibliographie que de mesures de terrain. La bibliographie utilisée comme référence est une bibliographie issue des conditions agroécologiques et de cultures locales.

Les mesures de production sur le terrain, dans un nombre de cas plus important, pourraient cependant permettre d'affiner ces premières estimations. Elles pourraient en particulier permettre de mettre en évidence d'éventuelles différences entre les productions obtenues d'un type de situation à l'autre.

La production des jardins vivriers a été exprimée en équivalent monétaire à partir des référentiels de prix des productions agricoles disponibles dans la bibliographie locale (Greindl, 2000 ; Mc Gregor, 1999b) et actualisés par enquête sur le marché de Luganville à Santo (Morelli, 2003). La production annuelle d'un jardin (de surface moyenne), si commercialisée, correspondrait à un équivalent monétaire de 59 400 Vatus.an⁻¹ (soit 446 €.an⁻¹, sur la base d'un taux de change de 133 Vatus pour 1 €). Rapportée mensuellement, cette somme représente près d'un tiers du salaire mensuel des techniciens de la station de recherche (Morelli, 2003).

L'équivalent énergétique de la production des jardins a également été estimé, en utilisant un référentiel des valeurs énergétiques pour les différentes espèces cultivées (Bradbury et Holloway, 1988 ; Mc Gregor, 1999b ; Greindl, 2000). L'équivalent énergétique moyen ainsi calculé est de 3.13 10⁶ kJ par an (c.v. = 40.5%). Cette valeur est à mettre en relation avec l'apport énergétique journalier recommandé 10 900 kJ (soit 3.98.10⁶ kJ. an⁻¹). Un jardin vivrier assurerait ainsi quasiment la totalité des besoins énergétiques annuels d'un individu adulte. Ceci est bien sur à nuancer compte-tenu de la composition des jardins, en particulier de la proportion de plantes à racines et tubercules qui sont hautement caloriques.

La productivité de ces zones de jardins est importante en particulier si on la rapporte à l'hectare, l'essentiel du travail étant nécessaire au moment de l'installation, la productivité du travail dans les jardins mélanésiens serait également élevée (Morelli, 2003). Ils représentent une production importante à ajouter à celle des cocotiers et autres espèces associées pour quantifier les sorties de matières issues des différentes catégories d'espèces des parcelles paysannes de cocotiers.

III-2-3-3) Estimation de la production des situations culturelles et des systèmes de culture paysans

Dans les parties précédentes, on a présenté les méthodes et résultats de l'évaluation de la production des cocotiers (correspondant à la catégorie : espèces majeures) et des zones de jardins vivriers (*i.e.* catégorie : espèces herbacées alimentaires) sur les parcelles paysannes. Il reste différentes catégories d'espèces composant le peuplement de ces parcelles dont la production n'a pas été quantifiée :

- les espèces ligneuses fruitières,
- les autres espèces ligneuses (non fruitières)
- les espèces herbacées autres qu'alimentaires

Des indicateurs très simples comme le nombre d'espèces et le nombre d'individus ont été retenus, qui s'ils ne renseignent pas sur la production des différentes catégories d'espèces, permettent cependant d'en approcher l'importance relative et de comparer les situations entre elles.

On se propose maintenant (a) de compiler les estimations de la production et l'importance relative des différentes catégories d'espèces afin d'estimer la production globale de différents types de situations culturales puis (b) de comparer les situations entres-elles pour estimer la production des systèmes de culture paysans et leur évolution au cours du temps. Compte-tenu du temps imparti, on ne présentera ici que quelques cas correspondant à des situations tranchées afin d'illustrer la démarche.

a) *Estimation de la production de situations culturales*

La figure 30 (a, b, c et d) présente la compilation des indicateurs retenus pour estimer la production des différentes catégories d'espèces dans différents types de situations. Chaque situation est représentée ici par une seule parcelle qui sert d'illustration de la démarche proposée. Les parcelles retenues sont les suivantes :

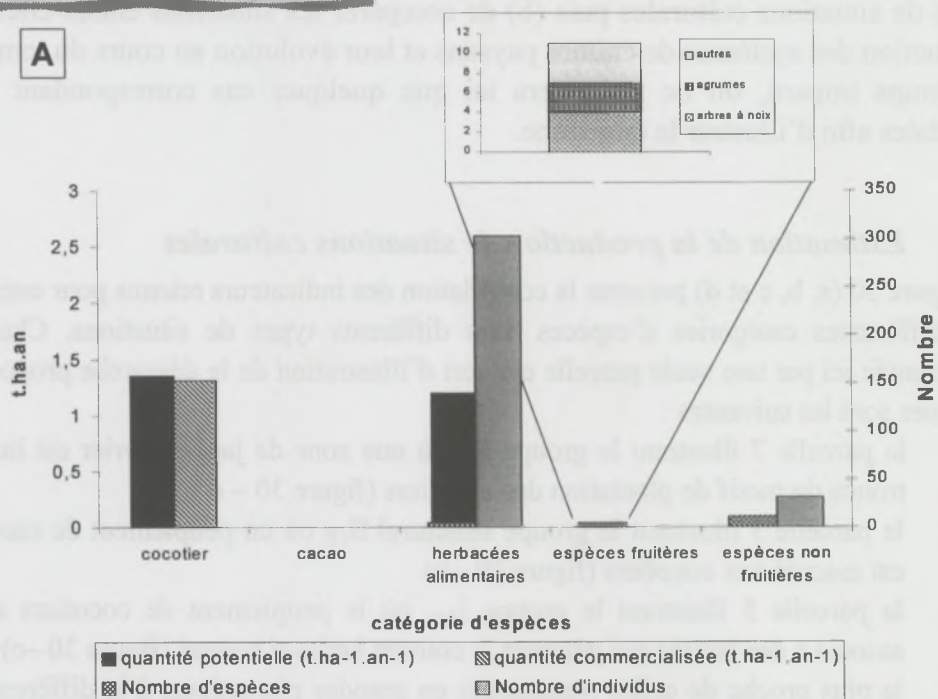
- la parcelle 7 illustrant le groupe I_{1C} où une zone de jardin vivrier est implantée dans une trouée du motif de plantation des cocotiers (figure 30 - a)
- la parcelle 3 illustrant le groupe structurel II_{1B} où un peuplement de cacaoyers sénescents est associé aux cocotiers (figure 30 - b)
- la parcelle 5 illustrant le groupe I_{1A} , où le peuplement de cocotiers en production est associé à des bovins qui pâturent le couvert herbacé naturel (figure 30 -c) (c'est la situation la plus proche de celles rencontrées en grandes plantations, à la différence que le couvert herbacé est alors souvent un pâturage amélioré composé d'espèces à forte valeur nutritive)
- la parcelle 9055 illustrant le groupe I_{3A} qui correspond à la situation au stade juvénile des cocotiers, ceux ci sont implantés sous un couvert ligneux et associés à un jardin vivrier (figure 30- d).

Un ensemble d'indicateurs (apportant différents niveaux d'informations) a été mobilisé pour estimer la production de ces différentes parcelles. La production des cocotiers a été estimée à l'aide de deux indicateurs : (1) la production potentielle des cocotiers (en équivalent t coprah.ha⁻¹.an⁻¹) et (2) la production récoltée (en t coprah.ha⁻¹.an⁻¹). La production des cacaoyers a été estimée comme la quantité de fèves récoltée (en t de fèves.ha⁻¹.an⁻¹). La production des zones de jardins vivriers a été estimée comme la somme de la production des différentes espèces²⁶ (en t. ha⁻¹.an⁻¹). La production des espèces ligneuses fruitières et non fruitières n'a pas été quantifiée. L'importance de ces espèces dans la production de la parcelle est néanmoins soulignée et abordée à partir d'indicateurs de structure. Pour ces catégories d'espèces on a ainsi précisé, pour chaque parcelle, le nombre d'espèces et le nombre d'individus total qui constituent la catégorie.

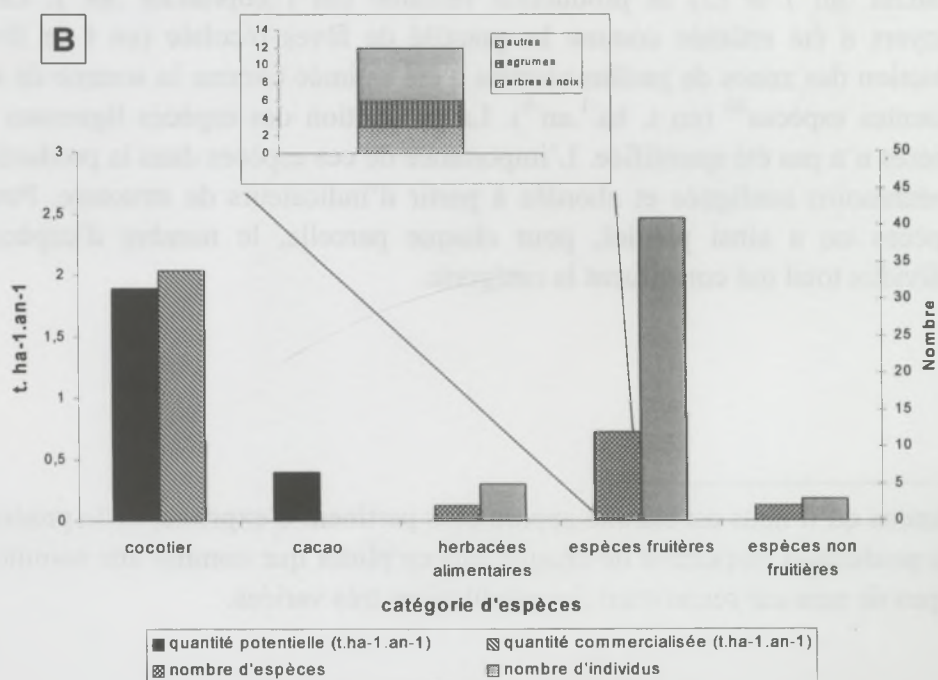
²⁶ Notons qu'il nous est ensuite apparu plus pertinent d'exprimer cette production en fonction de la production respective de chaque espèce plutôt que comme une somme n'ayant au final que peu de sens car recouvrant des productions très variées.



A

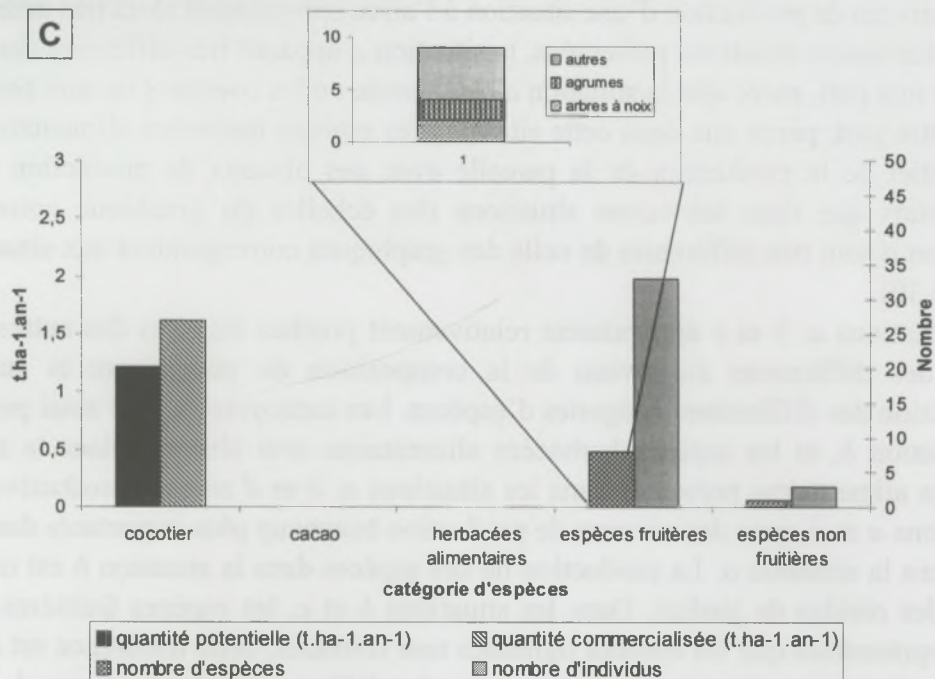


B





C



D

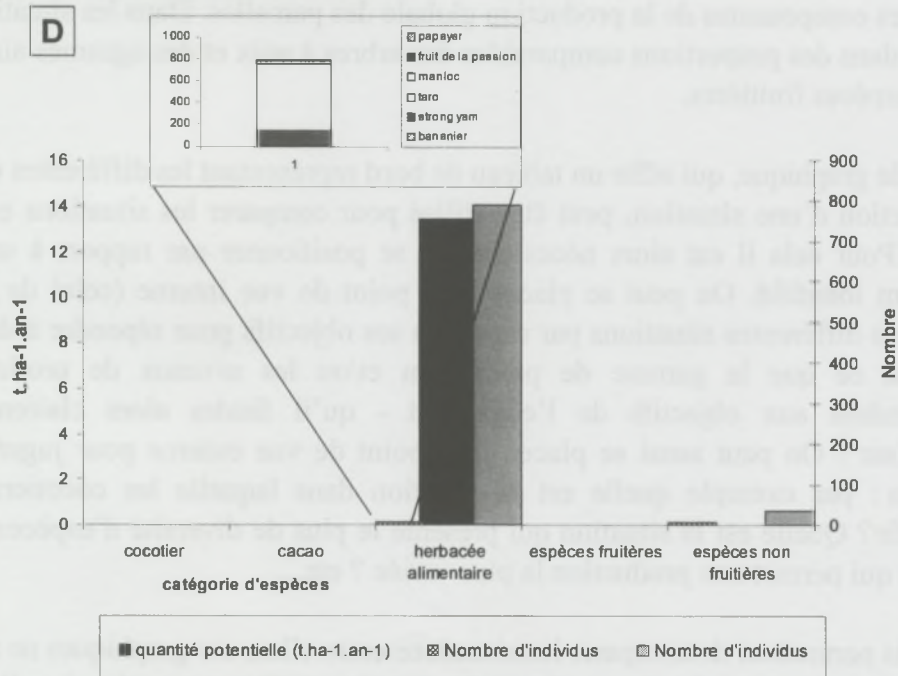


Figure 30 : Exemple d'estimation de la production d'une parcelle paysanne de cocotiers : a = groupe I_{IC}, trajectoire agropastorale, b = II_{IB}, trajectoire agroforestière, c = groupe I_{IA}, trajectoire agropastorale), et d = groupe I_{3A}

Le type de représentation choisi permet de mettre en évidence la composition du peuplement et de comparer les situations entre elles. La présence ou l'absence d'une catégorie d'espèces et son niveau de production d'une situation à l'autre apparaissent alors très nettement.

Parmi les quatre situations présentées, la situation *d* apparaît très différente des situations *a*, *b* et *c*. D'une part, parce que la situation *d* est la seule où les cocotiers ne sont pas en production et d'autre part, parce que dans cette situation les espèces herbacées alimentaires représentent l'essentiel de la production de la parcelle avec des niveaux de production beaucoup plus importants que dans les autres situations (les échelles du graphique correspondant à la situation *d* sont très différentes de celle des graphiques correspondant aux situations *a*, *b* et *c*) (figure 30).

Les situations *a*, *b* et *c* apparaissent relativement proches les unes des autres, mais on peut noter des différences au niveau de la composition du peuplement et au niveau de la production des différentes catégories d'espèces. Les cacaoyers ne sont ainsi présents que dans la situation *b*, et les espèces herbacées alimentaires sont absentes dans la situation *c*. Les espèces alimentaires présentes dans les situations *a*, *b* et *d* ne sont productives que dans les situations *a* et *d*, avec des niveaux de production beaucoup plus importants dans la situation *d* que dans la situation *a*. La production de ces espèces dans la situation *b* est nulle car ce sont alors des résidus de jardins. Dans les situations *b* et *c*, les espèces fruitières sont beaucoup plus représentées que les espèces ligneuses non fruitières, cette différence est moins marquée dans la situation *a*. On peut également noter des différences entre le niveau de production des cocotiers d'une situation à l'autre. Elle est plus importante dans la situation *b* (avec $1.9 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), intermédiaire dans les situations *a* et *c* (avec environ $1.2 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et nulle dans la situation *d*.

Les diagrammes illustrant la diversité des espèces ligneuses fruitières selon leur type de production apportent un niveau de précision supplémentaire dans la représentation des différentes composantes de la production globale des parcelles. Dans les situations *a*, *b* et *c* on retrouve dans des proportions comparables des arbres à noix et des agrumes ainsi que d'autres types d'espèces fruitières.

Ce type de graphique, qui offre un tableau de bord représentant les différentes composantes de la production d'une situation, peut être utilisé pour comparer les situations entre elles et les évaluer. Pour cela il est alors nécessaire de se positionner par rapport à un point de vue clairement identifié. On peut se placer d'un point de vue interne (celui de l'exploitant) et évaluer les différentes situations par rapport à ses objectifs pour répondre à des questions du type : est ce que la gamme de production et/ou les niveaux de productions obtenus correspondent aux objectifs de l'exploitant - qu'il faudra alors clairement définir et hiérarchiser ? On peut aussi se placer d'un point de vue externe pour juger les différentes situations : par exemple quelle est la situation dans laquelle les cocotiers sont les plus productifs ? Quelle est la situation qui présente le plus de diversité d'espèces ? Quelle est la situation qui permet une production la plus variée ? etc...

Mais s'ils permettent de comparer les situations entre elles, ces graphiques ne doivent pas être utilisés pour comparer le niveau de production des différentes catégories d'espèces au sein d'une même situation. Les productions des différentes catégories d'espèces étant très différentes, les comparer n'aurait aucun sens, même si l'indicateur retenu pour estimer leur production respective est du même type. La production des cocotiers et celle des jardins vivriers est par exemple exprimée en $\text{t.ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ mais représentent des productions très

différentes et il n'y aurait aucun sens à comparer des quantités de coprah et de produits vivriers. En revanche, lorsque deux indicateurs différents sont utilisés pour quantifier la même catégorie d'espèces, on peut comparer les niveaux de production obtenus avec chacun des indicateurs. Dans les situations présentées la production des cocotiers est par exemple estimée à partir (i) de la quantité de coprah potentiellement produite sur la parcelle et (ii) de la quantité d'albumen récoltée et transformée en coprah. De façon surprenante, la quantité récoltée est parfois supérieure au potentiel de la parcelle (figure 30, situation *b* et *c*). Ce genre de résultats *a priori* aberrants, permet un retour sur les méthodes d'estimation de la production et de récolte et de s'interroger sur leur fiabilité respective. Ici il semble que les productions récoltées estimées à partir des dires d'exploitants ne soient pas très fiables notamment parce que les exploitants raisonnent leur récolte plus au niveau de la tournée pour remplir le four à coprah qu'au niveau de la parcelle. Il est donc difficile d'obtenir des indications sur les quantités récoltées au niveau de la parcelle à partir des dires des exploitants.

Ces graphiques rassemblent les niveaux de production des différentes catégories d'espèces dont on a pu estimer la production. Pour constituer une illustration plus globale des performances des parcelles paysannes, ils pourraient être complétés par des indicateurs complémentaires sur les niveaux de production (quantitatif) ou par des estimations qualitatives pour mieux estimer les différentes sorties de ces parcelles.

b) Estimation de la dynamique temporelle de la production des systèmes de culture paysans

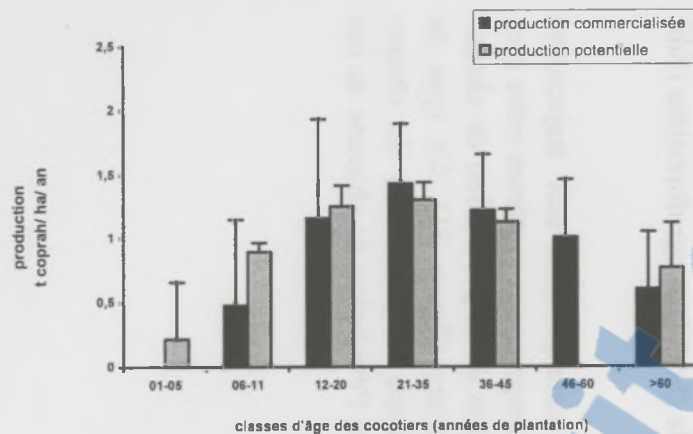
Les estimations de la production de chaque catégorie d'espèces sont finalement rassemblées pour représenter l'évolution des niveaux de production de chacune des catégories au cours du développement des cocotiers dans les trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SdC III-IV).

Pour visualiser la production des systèmes de culture correspondant aux trajectoires agropastorale (SdC I) et agroforestière (SdC III-IV) et pour comparer ces systèmes entre eux, on propose de représenter sur un même graphique, l'évolution de la production de chaque catégorie d'espèces au cours du développement des cocotiers (figure 31). Ce type de représentation permet de comparer d'une trajectoire à l'autre la production de chaque catégorie d'espèces pour un stade de développement donné et l'évolution de chacune de ces catégories au cours du temps.

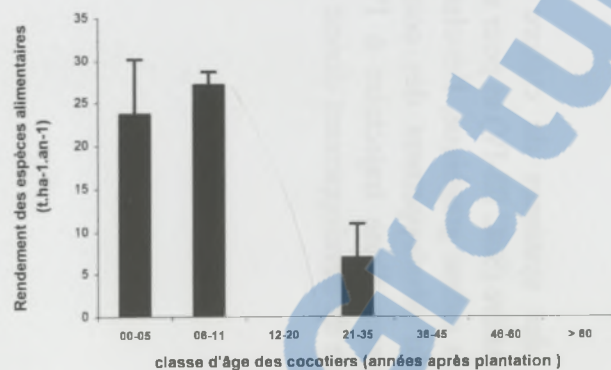
Système agropastoral (SdC I)



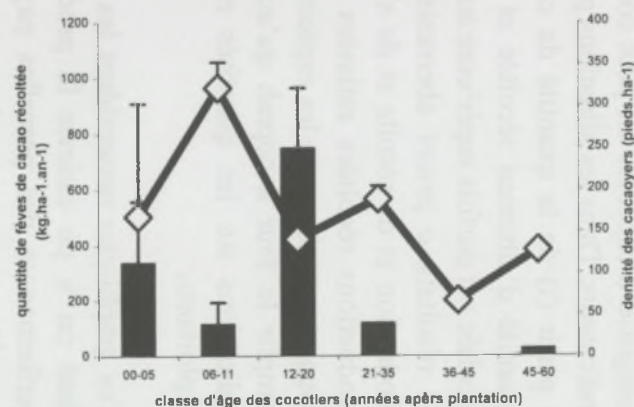
Cocotiers



Espèces herbacées alimentaires



Cacaoyers



Système agroforestier (SdC III-IV)

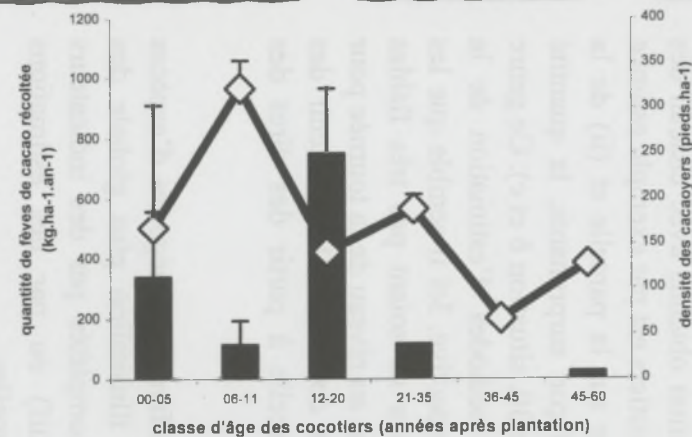


Figure 31 : Dynamique de production des différentes catégories d'espèces dans les différents systèmes de culture paysans (SdC I et III-IV)

Il n'y a pas de différence significative entre les niveaux de production des cocotiers dans les trajectoires agropastorale et agroforestière ; dans les deux systèmes la production des cocotiers atteint un maximum de l'ordre de $1.5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ entre 12 et 35 ans après la plantation des cocotiers, puis décline lentement : des productions de l'ordre de $1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ sont encore obtenues plus de 60 années après la plantation des cocotiers (figure 31²⁷). L'évolution de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes a été étudiée plus en détail (section III-2-3-1). On s'attendait à avoir une production potentielle nettement supérieure à la production récoltée, mais d'après les estimations réalisées l'écart entre les deux quantités est faible et nous interroge sur la fiabilité des méthodes d'estimation. D'une manière générale, on note toutefois une bonne adéquation entre les productions potentielles et les quantités récoltées (voir chapitre IV).

L'évolution du niveau de production des cacaoyers (uniquement dans le système agroforestier – SdC III) au cours du développement des cocotiers représente une moyenne des productions estimées par enquêtes auprès des exploitants pour des parcelles représentant les différents stades de développement des cocotiers mais pas l'évolution de la production des cacaoyers au cours du temps²⁸. Les observations des niveaux de production des cacaoyers recouvrent une grande diversité de densité des cacaoyers (entre 11 et $644 \text{ cacaoyers.ha}^{-1}$). Entre 12 et 20 ans après la plantation des cocotiers, on observe le plus haut niveau de production des cacaoyers (environ $750 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour une densité de $140 \text{ cacaoyers.ha}^{-1}$). La production des cacaoyers est nettement moins importante entre 20 et 35 années après la plantation des cocotiers (environ $110 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour une densité moyenne de $180 \text{ cacaoyers.ha}^{-1}$), cette période correspondrait à la sénescence d'une première génération de cacaoyers (implantée en même temps que les cocotiers). Dans le système de culture agroforestier (SdC III), le peuplement de cacaoyers n'est pas régénéré et sa disparition est parfois même accélérée en introduisant des bovins sur les parcelles.

Les espèces herbacées alimentaires sont présentes au stade juvénile des cocotiers dans les systèmes de culture I et III et constituent à ce stade l'essentiel de la production de la parcelle (figure 22). La productivité de cette catégorie d'espèces (ou zones de jardins vivriers) est très importante, elle atteint des niveaux de production de l'ordre de $23 \text{ t de produits vivriers.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$; il faut cependant garder à l'esprit que ces zones de jardins représentent des surfaces relativement modestes (de l'ordre de 350 m^2).

Entre 0 et 11 ans après la plantation des cocotiers, les niveaux de productions des zones de jardins vivriers sont relativement comparables (en moyenne $20 \text{ t de produits vivriers.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) quelque soit la trajectoire considérée (figure 31).

L'écart observé entre les productions dans les trajectoires agropastorale et agroforestière entre 6 et 11 ans après la plantation des cocotiers n'est pas dû à une différence dans la composition

²⁷ le fait que les histogrammes correspondant à la production n'apparaissent pas pour toutes les classes d'âge des cocotiers dans le système de culture agroforestier ne correspond pas à une absence de potentiel de production mais à une absence de mesures.

²⁸ Les chronoséquences ont été construites pour reconstruire de manière cohérente l'évolution du peuplement de cocotiers, mais pas celui de cacaoyers.

des zones de jardins. Il existe une forte variabilité de la production d'un jardin à l'autre même si leurs compositions sont comparables. Mais cet écart entre les productions, compte-tenu du faible nombre de parcelles représentant la trajectoire agroforestière, doit être considéré comme non significatif. Lorsque les cocotiers entrent en production, les cultures herbacées alimentaires ne sont plus cultivées, leur présence devient marginale.

Au terme de cette étude, on dispose d'une démarche pour dresser le tableau de bord permettant de représenter la pluralité de la production des parcelles paysannes et son évolution au cours du développement des cocotiers, mais il reste nécessaire de trouver des moyens de quantifier la production des différentes catégories d'espèces.

Pour estimer la durabilité et les voies possibles d'évolution de ces systèmes, on s'intéresse maintenant à la dynamique des états du milieu dans les systèmes de culture paysans.

III-3) La dynamique des états du milieu dans les systèmes de culture

III-3-1) Introduction

Les performances des systèmes de culture sont déterminées par les états du milieu qui évoluent sous l'influence des pratiques et du climat (Sebillotte, 1974). Pour estimer les performances des parcelles paysannes de cocotiers, en évaluer la durabilité et les possibilités d'évolution, il est donc nécessaire d'évaluer conjointement à la production des parcelles les états du milieu qui les conditionnent.

L'étude exhaustive des états du milieu n'étant pas envisageable dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous sommes concentrés sur les états du milieu jugés *a priori* déterminant des performances, durabilité et possibilités d'intensification des systèmes de culture considérés.

Les systèmes de culture agroforestiers se caractérisent par de multiples interactions (compétition ou facilitation) pour le partage des ressources entre les espèces associées et entre les individus d'une même espèce. Ces interactions s'exercent à la fois dans le milieu aérien (bilan radiatif et encombrement de l'espace) et souterrain (eau, nutriments et encombrement de l'espace). Dans les systèmes agroforestiers en zone humide, les relations de compétition pour la lumière constituent un des principaux facteurs limitant la croissance et/ou la production des différentes espèces du peuplement (Nair, 1993, Mialet-Serra 2001, Parveaud, 2002 ; Bellow and Nair, 2003). La compréhension des interactions pour la ressource lumineuse est donc un point crucial pour la gestion et l'amélioration des performances de ces systèmes (Mialet Serra, 2001 ; Sinoquet et Cadwell, 1995 ; Bellow and Nair, 2003).

Les compétitions souterraines s'exerçant dans les systèmes agroforestiers sont souvent plus importantes que celles s'exerçant en surface (Rao *et al.*, 1998 ; Huxley, 1999). Elles dépendent fortement des niveaux de fertilité du milieu et du degré d'encombrement du sol par les systèmes racinaires des plantes en présence. Du fait des difficultés d'observation, les interactions souterraines ont d'une manière générale été peu étudiées et le niveau actuel de compréhension de ces interactions reste limité (Rao *et al.*, 1993, Atkinson, 2000).

Au terme de la phase de caractérisation des systèmes de culture paysans, les relations de compétition pour la lumière et les compétitions pour l'espace sont apparues comme des éléments clés du fonctionnement de ces systèmes.

Le rayonnement transmis sous le couvert et l'encombrement racinaire apparaissent en particulier comme des facteurs importants du fonctionnement agroécologique des parcelles paysannes. Plusieurs hypothèses ont notamment été formulées pour expliquer, par des facteurs agronomiques, l'abandon des zones de jardins vivriers à l'entrée en production des cocotiers. Ces hypothèses sont les suivantes : (i) le rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers deviendrait limitant pour les cultures associées au cours du développement des cocotiers, (ii) l'encombrement du sol par les racines de cocotiers constituerait un obstacle au développement des cultures vivrières.

Dans cette partie, on cherchera à tester ces hypothèses et à mettre en évidence quelles sont les évolutions du rayonnement transmis et de l'enracinement au cours du développement des cocotiers dans les trajectoires paysannes.

En grande plantation monospécifique, Nelliati *et al.* (1974) ont suggéré que seule une partie des ressources du milieu était exploitée sur les parcelles de cocotiers en production. Cette proposition repose sur une estimation des compétitions aérienne et racinaire via une estimation du rayonnement disponible sous le couvert et de l'encombrement du sol par les racines de cocotiers cultivés en grande plantation monospécifique.

L'évolution du bilan radiatif et de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes sont-elles comparables à celles décrites par Nelliati *et al.* (1974) en grandes plantations ? Quelles sont les conséquences de ces évolutions pour le devenir des parcelles de cocotiers paysannes, notamment en terme de possibilité d'association de cultures sur les parcelles les plus âgées ?

L'analyse de l'évolution de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers a montré qu'au cours du temps la disparition de cocotiers sur la parcelle entraîne la création de trouées dans le motif de plantation. Dans certaines situations, cette altération du motif de plantation est valorisée par l'implantation de cultures vivrières rustiques. Quel est l'effet de l'altération du motif de plantation sur les états du milieu, et en particulier sur le bilan radiatif et l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes ?

Certaines parcelles paysannes de cocotiers évoluent en jachères arborées qui, selon l'impact de la culture du cocotier sur les états du milieu et la durée de la jachère, pourraient permettre de cultiver à nouveau l'espace occupé par la cocoteraie sur Malo. Pour estimer la durabilité et les possibilités d'évolution des cocoteraies il est donc nécessaire de mieux comprendre l'effet des systèmes de culture à base de cocotiers sur l'évolution du niveau de fertilité des sols.

Les seules références à propos de l'évolution de la fertilité des sols au cours du développement des cocotiers concernent des grandes plantations monospécifiques de cocotiers dans des environnements agroécologiques très différents (Ollagnier *et al.*, 1978 ; Olivin, 1980). Les résultats de ces études sont donc difficilement utilisables pour évaluer les conséquences de la culture paysanne des cocotiers sur l'évolution du niveau de fertilité des sols de l'île de Malo.

La teneur en matière organique du sol (MOS) est un indicateur du niveau de fertilité physico-chimique et de la durabilité agroécologique classiquement utilisé (Bertrand et Gigou, 2000; Baize, 2000) notamment pour analyser la durabilité des systèmes agroforestiers (Torquebiau, 1992 ; Gajaseneni et Gajaseneni, 1999). Dans cette partie, on cherchera donc principalement à caractériser l'évolution des teneurs en matière organique du sol au cours du développement des cocotiers.

La partie dynamique des états du milieu a pour objectif de répondre aux questions suivantes :

(i) Quelle est l'évolution du bilan radiatif, de l'encombrement racinaire et de la teneur en matière organique du sol au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes ?

(ii) Quel est l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur le bilan radiatif et l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes ?

(iii) Quelles sont les conséquences de l'altération du motif de plantation des cocotiers en terme de possibilité d'association de cultures sur les parcelles paysannes ?

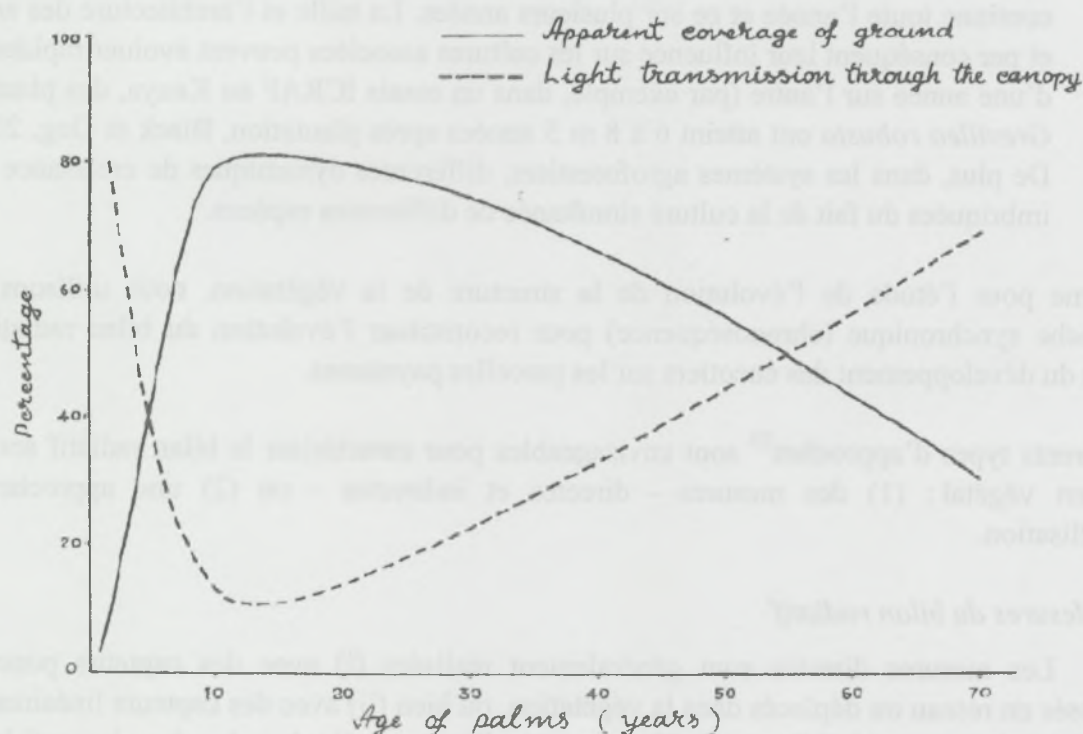
On présentera successivement la caractérisation du bilan radiatif, la caractérisation de l'encombrement racinaire, puis la caractérisation de la teneur en matière organique du sol. Ces différents facteurs seront finalement mis en relation dans le chapitre IV pour discuter de la durabilité des systèmes de culture à base de cocotiers.

III-3-2) Bilan radiatif

III-3-2-1) Problématique de l'évaluation du bilan radiatif sur des parcelles paysannes

Dans cette section, notre objectif est de caractériser l'évolution du rayonnement disponible sous le couvert de cocotiers dans les parcelles paysannes. Nous nous intéresserons ici spécifiquement au rayonnement photosynthétiquement actif PAR (c'est-à-dire au domaine spectral compris entre 400 et 700 nm).

Une tendance d'évolution du PAR transmis sous le couvert avec l'âge de cocotiers en peuplement monospécifique a été proposée par Nelli *et al.* (1974). Ces auteurs estiment le rayonnement transmis à partir du calcul théorique de l'occupation apparente du sol de cocotiers plantés en carré de 7,5 m de côté et de son évolution compte-tenu des changements architecturaux des cocotiers au cours du temps. L'évolution de l'architecture considérée au cours du développement des cocotiers est cependant très simplifiée (peu de changement au sein de la couronne après la maturité bien qu'une légère diminution de la longueur des palmes soit supposée). Ces résultats montrent que la couverture du sol par la canopée décroît progressivement avec l'âge des cocotiers et leur augmentation en hauteur. Après la phase juvénile (environ 10 années après la plantation) l'augmentation en hauteur avec l'âge des cocotiers correspond ainsi à une augmentation du rayonnement transmis sous le couvert (figure 32).



extrait de Nelli *et al.*, 1974

Figure 32: Tendance d'évolution du rayonnement sous le couvert de cocotiers proposée par Nelli *et al.* (1974)

Notre objectif vise ici à répondre aux questions suivantes :

- i) l'évolution du rayonnement au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes correspond t-elle à celle décrite par Nelli *et al.* (1974)?
- ii) quel est l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur la quantité et la répartition du rayonnement sous le couvert ?
- iii) quelles sont les conséquences de l'évolution du bilan radiatif pour le devenir des parcelles de cocotiers ? (peut-on, et si oui, à quel moment du cycle des cocotiers atteindre un seuil correspondant à un niveau d'éclairement acceptable pour implanter d'autres cultures ?)

Les difficultés méthodologiques rencontrées lorsque l'on cherche à caractériser les variations spatiale et temporelle du rayonnement dans des systèmes plurispécifiques tels que les systèmes agroforestiers sont bien plus importantes que celles rencontrées pour des systèmes monospécifiques (Black et Ong, 2000).

(i) variabilité spatiale :

Par rapport aux systèmes monospécifiques, les systèmes plurispécifiques se caractérisent par une forte hétérogénéité du couvert, et par conséquent par une grande variabilité de la répartition du rayonnement à l'intérieur et sous le couvert (Sinoquet et Caldwell, 1995). Cette variabilité spatiale du rayonnement est particulièrement importante dans les systèmes comportant de grands arbres (Black et Ong, 2000).

(ii) variabilité temporelle :

Dans les systèmes monospécifiques annuels, le cycle de croissance est globalement limité à une période de 100 à 150 jours, tandis que la présence d'espèces pérennes implique des pas de temps bien plus longs : la croissance des arbres est souvent continue toute l'année et ce sur plusieurs années. La taille et l'architecture des arbres et par conséquent leur influence sur les cultures associées peuvent évoluer rapidement d'une année sur l'autre (par exemple, dans un essai ICRAF au Kenya, des plants de *Grevillea robusta* ont atteint 6 à 8 m 5 années après plantation, Black et Ong, 2000). De plus, dans les systèmes agroforestiers, différentes dynamiques de croissance sont imbriquées du fait de la culture simultanée de différentes espèces.

Comme pour l'étude de l'évolution de la structure de la végétation, nous utilisons une approche synchronique (chronoséquence) pour reconstituer l'évolution du bilan radiatif au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.

Différents types d'approches²⁹ sont envisageables pour caractériser le bilan radiatif sous un couvert végétal : (1) des mesures - directes et indirectes - ou (2) une approche par modélisation.

(1) Mesures du bilan radiatif

(a) Les mesures directes sont généralement réalisées (i) avec des capteurs ponctuels disposés en réseau ou déplacés dans la végétation, ou bien (ii) avec des capteurs linéaires (ces méthodes de mesure du bilan radiatif sont particulièrement développées dans la synthèse de Varlet-Grancher *et al.*, 1989).

²⁹ De nombreuses synthèses ont été réalisées à ce sujet, voir notamment Varlet-Grancher *et al.*, 1989 ;

(b) Les mesures indirectes sont basées sur la détermination de fréquence de trouées et/ou de taches de soleil dans le couvert végétal. Parmi les différentes méthodes de mesures indirectes du bilan radiatif, on trouve par exemple: (i) le traitement de photos hémisphériques, (ii) la méthode « point quadrat », (iii) le taux de recouvrement, (iv) le densitomètre, (v) des index visuels (Varlet-Grancher *et al.*, 1989). Bellow et Nair (2003) ont comparé la fraction de trouées du couvert mesurée par différentes méthodes (densitomètre, photos hémisphériques et index visuel) pour différentes espèces. Ils ont ainsi montré que le densitomètre permet la meilleure prédiction des fractions de trouées sauf lorsque la densité des arbres est inférieure à 500 arbres.ha⁻¹ et que la canopée n'est pas totalement fermée, auquel cas, ce sont alors les photos hémisphériques qui donnent les meilleurs résultats.

Les conditions retrouvées sur les parcelles paysannes de cocotiers (densité d'environ 150 cocotiers.ha⁻¹, canopée non fermée) nous ont conduit à choisir les photos hémisphériques pour estimer le rayonnement disponible sous le couvert de cocotiers des parcelles paysannes.

Les photos hémisphériques permettent de décrire des situations existantes. Mais, à moins de mobiliser de lourds et coûteux dispositifs expérimentaux, les photos hémisphériques ne permettent pas de prédire les conséquences sur le bilan radiatif de l'altération d'un motif de plantation initial ou l'effet de différents dispositifs de plantation. Evaluer le bilan radiatif avec une approche de modélisation permet alors de tester différents scénarii difficiles voir impossibles à évaluer à partir de mesures de terrain (Sinoquet, 1993).

(2) modélisation du bilan radiatif

De très nombreux modèles de transfert radiatif existent. Selon le mode de représentation des plantes et le niveau de détail, on peut les regrouper en 4 grands types de modèles (Sinoquet et Caldwell, 1995 ; Parveaud, 2002, Masonnet, 2004) :

- (1) Les modèles basés sur la notion de milieu turbide supposent que la canopée est homogène et peut être considérée comme un milieu turbide dans lequel il est possible d'appliquer la loi de Beer-Lambert. Pour une direction donnée, la lumière dans la canopée diminue selon une loi exponentielle, fonction de l'indice foliaire et avec un coefficient d'extinction dépendant de l'orientation et de l'agencement spatial des feuilles (Parveaud, 2002). Ces modèles sont particulièrement adaptés aux couverts continus et homogènes (Sinoquet et Bonhomme, 1992). Leur utilisation a également été étendue aux systèmes agroforestiers en disposition linéaire (alley cropping) en réalisant un découpage de la végétation en zones homogènes (Rimmington, 1984). Mais ce type de modèle ne convient pas pour étudier le bilan radiatif dans des systèmes plurispécifiques plus complexes.
- (2) Les modèles géométriques simples sont basés sur une description géométrique des plantes au moyen d'équations paramétriques simples (Norman et Welles, 1983 ; Wang et Jarvis, 1990 ; Wu et Zhou, 1992) ou plus complexes (Cescatti, 1997). Ils permettent de calculer, avec des équations empiriques ou semi-empiriques, la transmission du rayonnement à travers ces formes géométriques et le rayonnement disponible pour une culture poussant sous le couvert arboré (Jackson, 1983). Lorsque deux strates (arborés et herbacées) se mélangent dans l'espace, il est cependant difficile, avec ce type de modèle, de déterminer les caractéristiques de l'interception lumineuse dans la zone composée des deux types de feuillage (Parveaud, 2002). Ce type de modèle est intéressant pour évaluer le bilan radiatif

sur les parcelles de cocotiers, mais uniquement dans les conditions les plus simples où les différentes espèces composant le peuplement ne se mélangeraient pas. Sur les parcelles paysannes, ces conditions ne sont que très rarement retrouvées et ce type de modèle n'est donc pas le plus pertinent pour y caractériser le bilan radiatif.

- (3) Les modèles mixtes combinent une représentation géométrique simplifiée du couvert et une description statistique de la distribution de la surface foliaire à l'intérieur de ces formes. Le calcul de l'atténuation du rayonnement est réalisé suivant la loi de Beer-Lambert. L'utilisation de cette loi s'appuie sur deux hypothèses simplificatrices : (a) les éléments de surface foliaire sont de très petite dimension, et (b) ces éléments de la surface foliaire sont répartis de manière aléatoire à l'intérieur des formes considérées. Ces hypothèses constituent une limite importante de ces modèles (Massonnet, 2004). Dans le cas des parcelles de cocotiers caractérisées par une architecture géométrique marquée, ces hypothèses ne sont pas valables et les modèles mixtes apparaissent donc comme peu adaptés pour y caractériser le bilan radiatif.
- (4) les modèles de type « infographique » sont basés sur des représentations plus réalistes de la végétation, chaque plante étant représentée par une maquette tridimensionnelle plus ou moins détaillée (El Houmaizi, 2002). Cette approche est bien adaptée aux couverts hétérogènes car elle permet de représenter assez précisément la structure du couvert et de définir ainsi le bilan radiatif à une échelle assez fine. Cette approche est par exemple mise en œuvre dans la plate-forme Archimed qui réalise un bilan radiatif détaillé et une cartographie du rayonnement transmis dans des couverts quelconques (Dauzat et Eroy, 1997). Cette plate-forme inclut par ailleurs un module de simulation de l'architecture de cocotiers. Etant donné la forte hétérogénéité spatiale et temporelle du couvert des parcelles paysannes de cocotiers, la plate-forme Archimed s'appuyant sur une description géométrique des cocotiers est celle que nous avons retenue pour étudier le rayonnement transmis sous le couvert sur ces parcelles.

La plate-forme Archimed permet, après avoir spécifié la scène (position et architecture des arbres), d'accéder au bilan radiatif complet de cette scène. Pour cela, plusieurs programmes sont utilisés successivement :

- MIR (Mapping Intercepted Radiation) calcule l'interception du rayonnement incident par chaque élément de plante (*i.e.* chaque organe) dans les 46 directions définies par le modèle *Turtle*.
- MUSC (Multiple Scattering) utilise les résultats de MIR pour calculer les rediffusions multiples au sein du couvert en fonction des propriétés optiques de la végétation et du sol dans une bande spectrale donnée (PAR : Photosynthetic Active Radiation ou NIR : Near Infra Red)
- RADBAL (Radiative Balance) effectue un bilan radiatif complet de la scène pour des conditions radiatives données en combinant les résultats de MIR et MUSC (bilans partiels pour chacune des 46 directions du modèle *Turtle*)
- L'utilitaire BIOMSCENE calcule les surfaces des éléments des maquettes de plantes afin de pouvoir exprimer le rayonnement intercepté en terme d'éclairement (Dauzat et Eroy, 1997; El Houmaizi, 2002 ; Parveaud, 2002).

Cette plate-forme a notamment été utilisée pour simuler le rayonnement transmis pour différentes populations de cocotiers et pour différents dispositifs en condition de grande plantation.

L'utilisation de cette plate-forme nécessite toutefois un paramétrage détaillé des maquettes de cocotiers. Ce paramétrage a été effectué en station expérimentale (condition de grande plantation) pour la classe d'âge « 6 ans » de la population de cocotiers GVT, la classe d'âge « 10 ans » pour la population hybride NRV*GVT, et d'une période de 6 à 40 ans pour la population de cocotiers Laguna Tall des Philippines (Mialet-Serra *et al.*, 2001).

Calibrer les maquettes architecturales correspondant à des stades de développement plus avancés pour la population de GVT permettrait de disposer d'un outil de diagnostic pour évaluer le bilan radiatif et sa répartition sous un couvert monospécifique de cocotiers.

Les différentes simulations permettraient alors d'estimer le bilan radiatif et sa répartition pour différents scénarii de plantations des cocotiers, et en particulier de tester l'effet de l'altération du motif de plantation sur la quantité et la répartition du rayonnement sur ces parcelles.

La démarche retenue dans cette étude pour caractériser le bilan radiatif sur les parcelles de cocotiers combine les deux approches : (1) une approche de type « diagnostic » avec des mesures indirectes du rayonnement disponible sous le couvert par photos hémisphériques et (2) une approche de type « modélisation » en utilisant les simulations de la plate-forme Archimed comme outil d'évaluation de la répartition du rayonnement.

Cette double approche permet de s'appuyer sur la description de situations existantes pour, au-delà de la démarche de diagnostic, explorer une plus large gamme de situations.

III-3-2-2) Méthodes et dispositifs retenus

a) Evaluation du rayonnement disponible sur les parcelles paysannes

a-1) Dispositif

Pour tenter de réduire les effets, à la fois du nombre et des différences dans l'architecture des espèces ligneuses associées aux cocotiers sur les parcelles paysannes, on s'est délibérément placé dans les conditions les plus simples possibles, à savoir : exclusivement dans la trajectoire agropastorale et sur chaque parcelle au sein d'un motif de plantation des cocotiers régulier et à la plus grande distance possible des espèces ligneuses associées.

Le rayonnement transmis sous le couvert dépend fortement de la densité des cocotiers et des espèces ligneuses sur la parcelle. On a donc sélectionné, parmi les parcelles représentant les différents stades de la trajectoire agropastorale, les parcelles présentant une même densité moyenne de 150 ± 30 cocotiers.ha⁻¹. Au sein de cette sélection de parcelles, on a également cherché à ce que la densité de ligneux associés aux cocotiers soit la plus comparable ou cohérente possible d'une situation à l'autre³⁰. N'ont été retenues que les parcelles situées sur des zones de pente nulle ou faible (inférieure à 5%) afin de s'affranchir, autant que possible, des biais liés au facteur pente dans la mesure du rayonnement et dans la comparaison des parcelles entre elles.

³⁰ Avec le même type de raisonnement que celui présenté à propos de la densité de cocotiers entre les parcelles du réseau (voir chapitre III-1)

Une chronoséquence composée de 11 parcelles paysannes a ainsi été retenue. Elle permet de représenter les différents stades de développement des cocotiers dans la trajectoire agropastorale sur une période comprise entre la 6^{ème} et la 70^{ème} année après la plantation des cocotiers. La chronoséquence est composée de parcelles situées dans la zone Centre-Est et complétée par deux parcelles de la zone Ouest pour représenter jusqu'à la 70^{ème} année de la trajectoire agropastorale. Mais, il n'a pas été possible de reconstruire une chronoséquence où à la fois la densité des cocotiers et celle des ligneux associés soient comparables d'une situation à l'autre (dans la chronoséquence retenue, il existe donc une « variabilité non contrôlée » de la densité des ligneux associés aux cocotiers).

Par ailleurs, outre le nombre d'individus ligneux associés aux cocotiers sur la parcelle, l'architecture des espèces ligneuses conditionne fortement le rayonnement disponible sous le couvert. Ainsi, un manguier qui présente une couronne dense et étalée limitera beaucoup plus le rayonnement disponible sous le couvert qu'un navelle (*Barringtonia edulis*) qui présente un port plus effilé. La classification des parcelles paysannes réalisée dans la phase de caractérisation des systèmes de culture n'a pas pris ce critère en compte et le nombre de parcelles disponibles pour décrire chaque situation culturelle n'est pas suffisant pour permettre de le considérer *a posteriori*.

a-2) Protocole de prise de vue

Sur chacune des parcelles de la chronoséquence, le rayonnement transmis sous le couvert a été évalué à partir de photos hémisphériques. Sur chacune des parcelles, les photos hémisphériques sont réalisées dans 3 motifs de plantation réguliers des cocotiers.

Pour leur traitement ultérieur, il est nécessaire que les photos hémisphériques soient prises en l'absence de rayonnement direct ; ces conditions sont obtenues soit par temps couvert (nuageux) soit à l'aube et au crépuscule. Les photos ont été réalisées à l'aide d'un objectif « fisheye » adapté sur un appareil numérique NIKON Coolpix 4500 ©. Elles ont été prises à 1 m au dessus du niveau du sol et après positionnement de l'appareil par rapport au Nord géographique (pour le traitement ultérieur des photos). Pour chaque motif de plantation, on réalise 9 photos hémisphériques afin de rendre compte de la variabilité spatiale existant au sein du motif (figure 33).

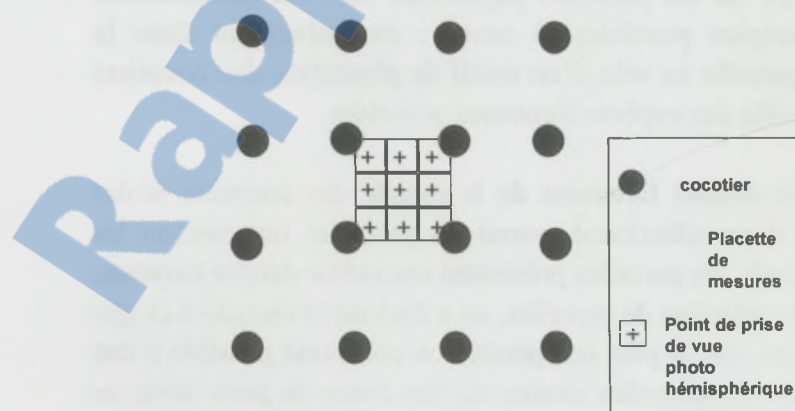


Figure 33 : Dispositif des prises de vue par photos hémisphériques pour mesurer le bilan radiatif sur les parcelles paysannes (3 répétitions).

a-3) Traitement des photos hémisphériques

Les photos hémisphériques ont été traitées par le logiciel libre Gap Light Analyser (GLA : <http://www.ecostudies.org/gla/> ; Fraser *et al.*, 1999).

La photographie est d'abord configurée en indiquant la position du Nord Géographique et en renseignant les paramètres pour localiser la photo et caractériser les conditions radiatives locales (latitude, indice de nébulosité³¹, rapport du rayonnement incident /extra-terrestre).

La photographie en vraies couleurs est ensuite transformée en pixels noirs et blancs par une étape manuelle de seuillage. Le rayonnement transmis sous le couvert est ensuite calculé à partir du calcul du rayonnement incident réalisé automatiquement à partir des paramètres de configuration de l'image et du calcul du pourcentage de trouées sur l'image seuillée. Les calculs ont été effectués avec un pas de temps de 30 minutes sur une période annuelle. L'indice de nébulosité a été paramétré comme égal à 0,5 à partir des mesures effectuées sur la station de recherche VARTC à Santo, où les conditions climatiques sont comparables à celles de Malo.

b) La plate-forme Archimed : outil de simulation du rayonnement sous le couvert de cocotiers

b-1) Calibrage des maquettes architecturales pour différentes classes d'âges de la population de cocotiers GVT

Les maquettes architecturales correspondant à différentes classes d'âge (6, 20 et 35 ans) des cocotiers (GVT) ont été paramétrées à partir de mesures réalisées en suivant le protocole simplifié établi par Mialet-Serra pour la description architecturale des cocotiers et le calcul des paramètres associés (annexe 11).

Ces mesures ont été réalisées sur les palmes 14 prélevées sur un échantillon d'une dizaine de cocotiers pour les stades 6 et 20 ans. Sur la parcelle la plus ancienne de la station de recherche, 5 cocotiers ont été abattus pour réaliser les mesures sur la palme 14 au stade de 35 ans. Les fichiers paramètres établis pour les maquettes des GVT à 6, 20, et 35 ans sont présentés en annexe 11.

Pour pallier le manque de données de terrain permettant de calibrer les maquettes architecturales correspondant à des cocotiers GVT plus âgés, les données obtenues sur l'évolution de paramètres architecturaux considérés comme majeurs (hauteur du stipe, longueur des palmes, etc..) au cours du développement des cocotiers ont été mises en relation avec les rares données quantitatives existant à ce sujet dans la littérature. Après avoir vérifié la cohérence des différents jeux de données, on a établi, à partir des données³² de Silva et Abeywardena (1970), des relations pour prédire en fonction de l'âge des cocotiers (1) : la longueur des palmes, (2) longueur du pétiole, (3) le rapport longueur du pétiole sur longueur de la palme, et (4) la longueur maximale des folioles.

³¹ L'indice de nébulosité étant défini par le rapport du rayonnement global mesuré sur le rayonnement extraterrestre.

³² car les mesures de Silva et Abeywardena (1970) correspondaient à des moyennes établies à partir d'une population d'une trentaine d'individus et possédaient à ce titre plus de signification que celles que nous avons mesurées sur une dizaine d'individus.

La hauteur des stipes en fonction de l'âge des cocotiers est prédite par une relation sigmoïdale établie à partir des hauteurs des cocotiers mesurées sur les différentes parcelles paysannes décrites au cours de la caractérisation des systèmes de culture paysans.

Les relations de prédiction des différents paramètres architecturaux en fonction de l'âge des cocotiers sont rassemblées en annexe, ainsi que le fichier paramètre en résultant pour calibrer les maquettes architecturales de cocotiers de 60 ans (annexe 12).

Au terme de cette étude il est nécessaire d'affiner les relations de prédiction des paramètres architecturaux en fonction de l'âge des cocotiers. A moindre coût, ceci implique d'effectuer les mesures sur des palmes de cocotiers âgés tombées au sol. Pour des cocotiers de 40, 50, 60 ans et plus, il conviendrait en particulier de disposer des mesures suivantes : (i) longueur des palmes, (ii) nombre de palmes, (iii) hauteur arbres, (iv) rapport pétiole / palme, (v) nombre de folioles, et (vi) surface des palmes.

Enfin, calibrer la fonction représentant l'inclinaison des palmes pour différentes classes d'âges permettrait d'obtenir des maquettes plus réalistes pour décrire plus fidèlement l'évolution de l'architecture de la couronne au cours du développement des cocotiers. Les descriptions qualitatives proposées par Foale *et al.* (1994) pourraient être un premier matériel sur lequel s'appuyer pour obtenir une représentation plus réaliste de l'inclinaison des palmes dans la couronne au cours du développement des cocotiers.

b-2) Vérification de la cohérence des sorties du modèle avec le bilan radiatif calculé à partir de photos hémisphériques

Pour vérifier la cohérence entre les simulations issues de la plate-forme Archimed et les mesures du rayonnement par photos hémisphériques, des photos hémisphériques ont été réalisées pour évaluer la quantité de rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers des parcelles où les mesures architecturales ont été réalisées. Ces maquettes architecturales qui constituent l'entrée de la plate-forme Archimed ont été réalisées sur des parcelles qui correspondent au stade 6, 20 et 35 ans après la plantation des cocotiers. Pour chaque cocotier décrit, un ensemble de photos hémisphériques a été réalisé pour représenter la gamme de variation du rayonnement au sein d'un motif élémentaire de plantation des cocotiers, sous l'hypothèse simplificatrice d'une symétrie de la couronne des cocotiers (figure 34).

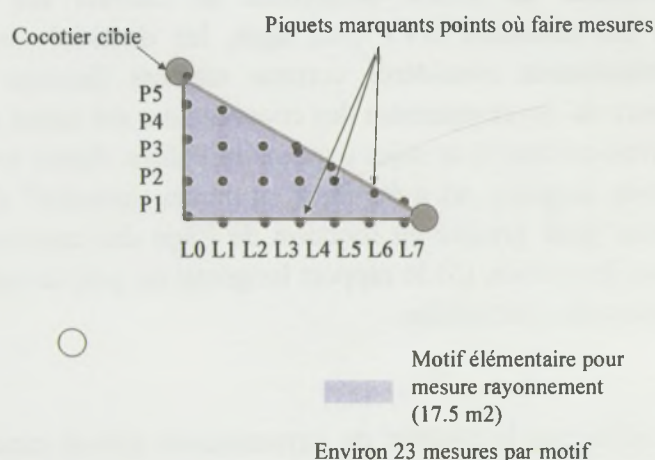


Figure 34 : Plan d'échantillonnage pour la prise de photos hémisphériques permettant la caractérisation du rayonnement sous le couvert cocotier étudié pour les maquettes architecturales.

Ces clichés ont ensuite été traités avec le logiciel GLA (Gap Light Analyser, Fraser *et al.* 1999) comme décrit plus haut. La quantité moyenne de rayonnement transmis sur une parcelle d'une classe d'âge donnée est déterminée en moyennant : (1) le rayonnement calculé aux différentes positions et (2) le rayonnement calculé pour les différents cocotiers qui représentent la même classe d'âge. Les quantités moyennes de rayonnement ainsi obtenues sont comparées à celles obtenues par simulation, via la plate-forme Archimed à partir des maquettes architecturales calibrées pour les classes d'âge 6, 20 et 35 ans (tableau 16).

Tableau 16 : Comparaison des pourcentages de transmission sous cocoteraie calculés à partir du traitement des photos hémisphériques et par simulation via la plate-forme Archimed avec des maquettes architecturales calibrées pour des cocotiers GVT de 6, 20 et 35 ans

Age des cocotiers	Photos hémisphériques traitées avec GLA (%)	Simulations avec Archimed à partir des maquettes calibrées (%)	RMSE*
6	34	35,21	0,14
20	27,4	22,47	0,22
35	60,6	45,5	0,27

* RMSE = Root Mean-Square Error

Pour les classes d'âge 6 et 20 ans, l'écart entre les deux types de mesure est faible et on peut donc comparer les résultats des deux méthodes. Pour la classe d'âge 35 ans, en revanche le rayonnement transmis estimé à partir de photos hémisphériques est supérieur à celui mesuré par simulation via Archimed. Cet écart pourrait être principalement expliqué par la prise en compte par les photos hémisphériques du voisinage qui comporte des trouées. Ces trouées étant non représentées dans les scènes simulées.

Les estimations de rayonnement transmis par simulation sous Archimed ou par traitement de photos hémisphériques sous GLA reposent sur : (i) la détermination de fractions de trouées directionnelles, et (ii) le calcul du rayonnement incident arrivant au sol au travers de ces trouées. Les algorithmes de calcul du rayonnement incident donnent des résultats similaires pour les deux logiciels. L'origine des divergences serait donc liée à la détermination des fractions de trouées. Vraisemblablement les fractions de trouées mesurées par photos hémisphériques intégraient un environnement hétérogène (par exemple avec des arbres manquants). Compte-tenu du temps imparti, la comparaison des fractions de trouées directionnelles mesurées et simulées pour analyser l'origine des divergences de rayonnement transmis n'a pas pu être effectué dans le cadre de ce travail.

L'hétérogénéité des arbres au sein d'une parcelle peut par ailleurs modifier son facteur de transmission : par exemple, une forte variabilité de la taille des arbres ou de leur inclinaison conduit à une augmentation des macro-trouées entre les couronnes des arbres et augmente le taux de transmission de la lumière. Ceci peut expliquer partiellement un taux de transmission sous-évalué pour les parcelles simulées si l'hétérogénéité des cocoteraies étudiées n'a pas correctement été restituée.

En pratique, un échantillonnage plus exhaustif et mieux représentatif de la parcelle aurait été nécessaire, en même temps qu'une caractérisation plus rigoureuse de l'hétérogénéité des arbres. Cependant, si on se réfère à des simulations antérieures, on peut considérer que les

simulations sur maquettes restituent correctement les fractions de trouées et le rayonnement transmis sous couvert dans la mesure où les arbres ont été correctement paramétrés.

Dans le cadre de cette étude, malgré la différence entre les résultats de deux types d'approche pour des cocotiers de 35 ans, on considérera donc que les résultats de ces approches peuvent être comparés.

La comparaison entre les deux types d'approche doit être approfondie, notamment pour alléger le dispositif de prise de vues, en identifiant des zones de mesure clés pour limiter le nombre de photos hémisphériques à réaliser.

b-3) Plan et protocole de simulation

Pour des cocotiers GVT âgés de 6, 20, 35 et 60 ans, le bilan radiatif a été simulé sur une scène composée de 9 cocotiers plantés en carré de 8 m de côté (soit une densité moyenne de 156 cocotiers.ha⁻¹) (figure 35 : a). Pour les cocotiers de 35 et 60 ans, on simule également le bilan radiatif pour des scènes avec 1 puis avec 2 cocotiers manquants (figure 35 : b et c).

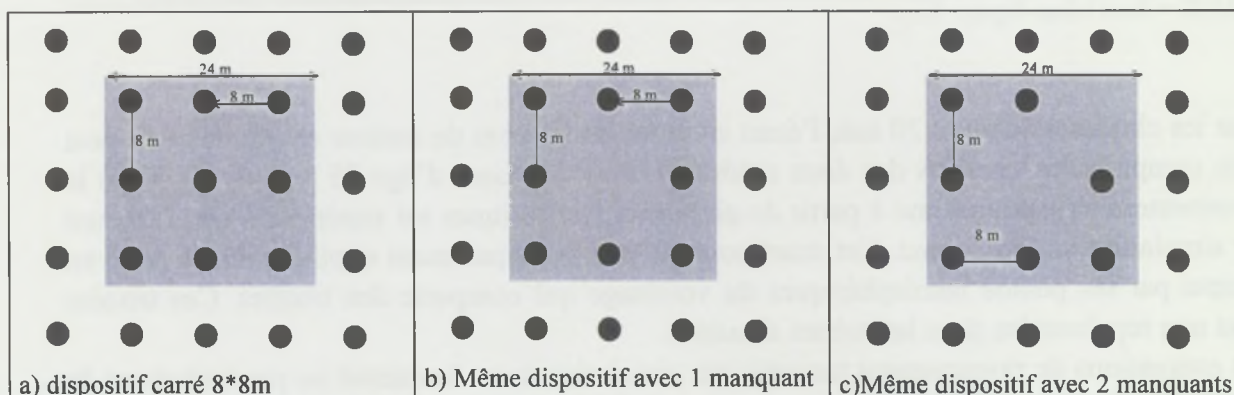


Figure 35: Scènes de simulation du bilan radiatif (a) cocotiers plantés en carré de 8*8m (i.e. densité de 156 cocotiers.ha⁻¹) (b) même scène avec un cocotier manquant (c) même scène avec deux cocotiers manquants.

La plate-forme Archimed est en cours de transfert sous PC. Pour information, les options à renseigner pour chacune des étapes de la chaîne de programmes composant la plate-forme Archimed dans sa version sous station Silicon Graphics ne sont pas présentées ici.

III-3-2-3) Résultats : évolution du bilan radiatif au cours du développement des cocotiers

a) Evolution du bilan radiatif sur les parcelles paysannes

La tendance d'évolution du rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers en condition paysanne (trajectoire agropastorale) est comparable à celle décrite en condition de grande plantation par Nelli *et al.* (1974), avec néanmoins une incertitude sur le bilan radiatif au stade juvénile sur les parcelles paysannes. Au cours de la caractérisation des trajectoires d'évolution de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes, on a mis en évidence

le fait que les cocotiers soient implantés dans des jachères arborées qui sont ensuite progressivement défrichées. Au moment de leur implantation sur les parcelles paysannes, les cocotiers constituent donc une strate dominée dans le profil de la végétation. En grande plantation, en revanche, les cocotiers sont implantés dans une zone préalablement défrichée, le rayonnement transmis sous le couvert est alors (pour une densité donnée) exclusivement dépendant de l'évolution de l'architecture des cocotiers. On peut donc faire l'hypothèse que la proportion de rayonnement disponible sous le couvert est plus importante en grande plantation qu'en plantation paysanne où d'autres espèces ligneuses sont associées aux cocotiers. Sur la figure 36, différents types de pointillés ont été représentés pour figurer les démarrages possibles de la courbe d'évolution du rayonnement sous le couvert des parcelles paysannes de cocotiers selon le degré de fermeture de la canopée au jeune âge ; les pointillés continus représentent le démarrage de la courbe qui pourrait être obtenu avec un couvert fermé, les pointillés discontinus correspondent au démarrage de la courbe pour un couvert plus ouvert, où les espèces ligneuses associées permettraient du fait de leur nombre ou de leur architecture une perméabilité plus grande du rayonnement.

A l'entrée en production (une dizaine d'années après la plantation), les cocotiers constituent la strate dominante du peuplement dans la trajectoire agropastorale. Le rayonnement transmis est alors inférieur à 30 %. A partir de la vingtième année après la plantation, le rayonnement sous le couvert augmente de façon régulière avec l'âge des cocotiers. A partir de 45 ans, plus de 50% du rayonnement est transmis, et à 60 ans, 65 % du rayonnement est transmis sous le couvert de cocotiers (figure 36).

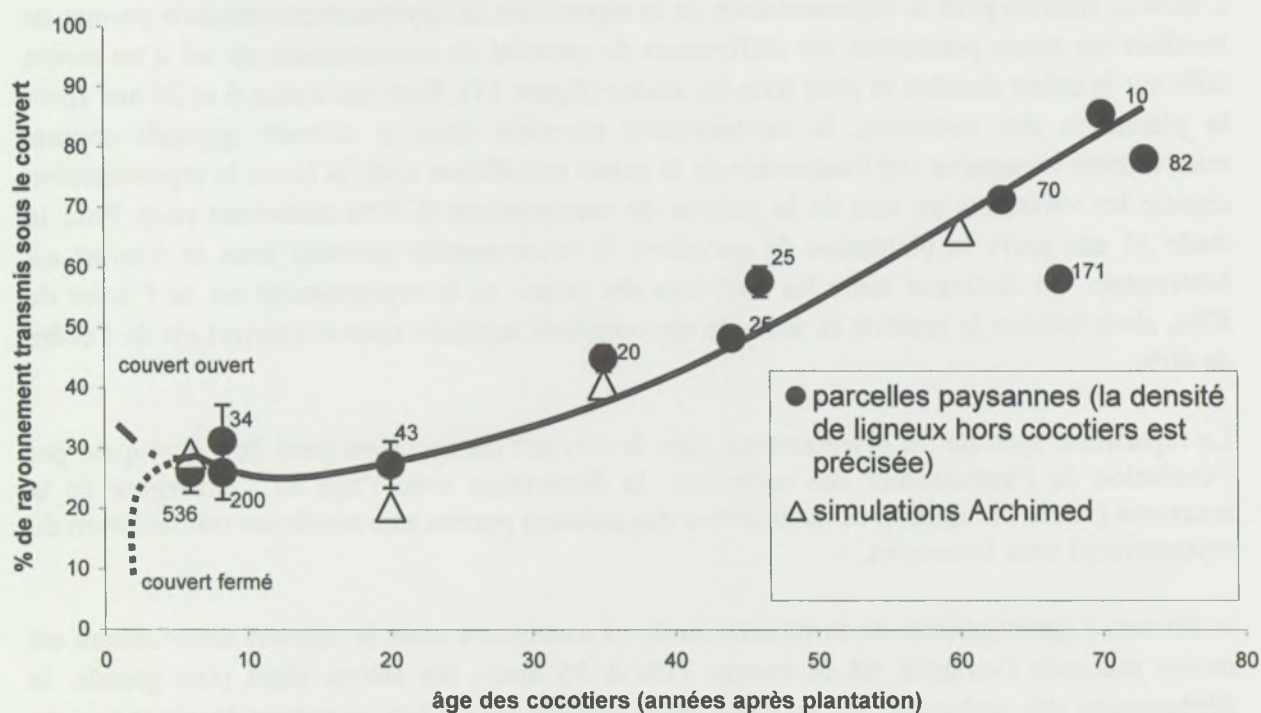


Figure 36 : Evolution du bilan radiatif au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes de Malo

Les valeurs moyennes de rayonnement au niveau du sol simulées avec la plate-forme Archimed pour des couverts monospécifiques de cocotiers de 6, 20 35 et 60 ans plantés en carré de 8 m de côté, ont été reportées sur la figure 32. La dynamique d'évolution du rayonnement obtenue est cohérente avec celle décrite par Nelli *et al.* (1974) ainsi qu'avec celles décrite dans cette étude pour les parcelles paysannes de la trajectoire agropastorale (figure 36).

La quantification de la proportion moyenne de rayonnement sous le couvert recouvre une variabilité à laquelle il est important d'accéder pour prévoir si le rayonnement disponible sous le couvert permet d'y implanter d'autres cultures. Les simulations, permettant d'accéder à moindre coût à la variabilité spatiale du rayonnement, sont également utilisées pour mettre en évidence l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur le rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers.

b) Effet de l'altération du motif de plantation sur la quantité et la répartition du rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers

La figure 37 présente les cartes de répartition du rayonnement transmis au sol simulées via la plate-forme Archimed pour : (a) des cocotiers de 6, 20, 35 et 60 ans avec un dispositif régulier de plantation en carré de 8 m de côté (soit une densité de 156 cocotiers.ha⁻¹), (b) pour des cocotiers de 35 et 60 ans avec un cocotier manquant au centre de la scène et (c) pour des cocotiers de 35 et 60 ans avec deux cocotiers manquants dans la scène.

L'échelle retenue pour la représentation de la répartition du rayonnement transmis permet de localiser les zones présentant des différences de quantité de rayonnement au sol d'au moins 20% sur la scène simulée et pour tous les stades (figure 37). Pour les stades 6 et 20 ans après la plantation des cocotiers, le rayonnement transmis sous le couvert apparaît comme relativement homogène sur l'ensemble de la scène et inférieur à 40 % (avec la représentation choisie les variations au sein de la gamme de rayonnement 0-40% ressortent peu). Pour le stade 35 ans après la plantation de cocotiers, le rayonnement transmis sous le couvert est hétérogène. On distingue entre les cocotiers des zones où le rayonnement est de l'ordre de 60%, alors que sur le reste de la scène le rayonnement transmis sous le couvert est de l'ordre de 40%.

La répartition spatiale du rayonnement sous le couvert de cocotiers peut être expliquée par l'évolution de l'architecture des cocotiers : la diminution avec l'âge de l'envergure de la couronne (via la diminution de la longueur des palmes) permet une meilleure transmission du rayonnement sous le couvert.

A 60 ans, l'hétérogénéité de la répartition du rayonnement sous le couvert de cocotiers est moins marquée (variance 68 % contre 71% à 35 ans) ; les arbres étant plus grands, le déplacement des ombres au sol au cours de la journée tend à homogénéiser la répartition du rayonnement transmis.

On distingue alors trois zones différentes :

- (1) entre les lignes de cocotiers, le rayonnement transmis est de l'ordre de 60%
- (2) entre les cocotiers, le rayonnement transmis est de l'ordre de 80%,
- (3) au centre de cette zone, la quasi-totalité du rayonnement arrive au sol (figure 37, a).

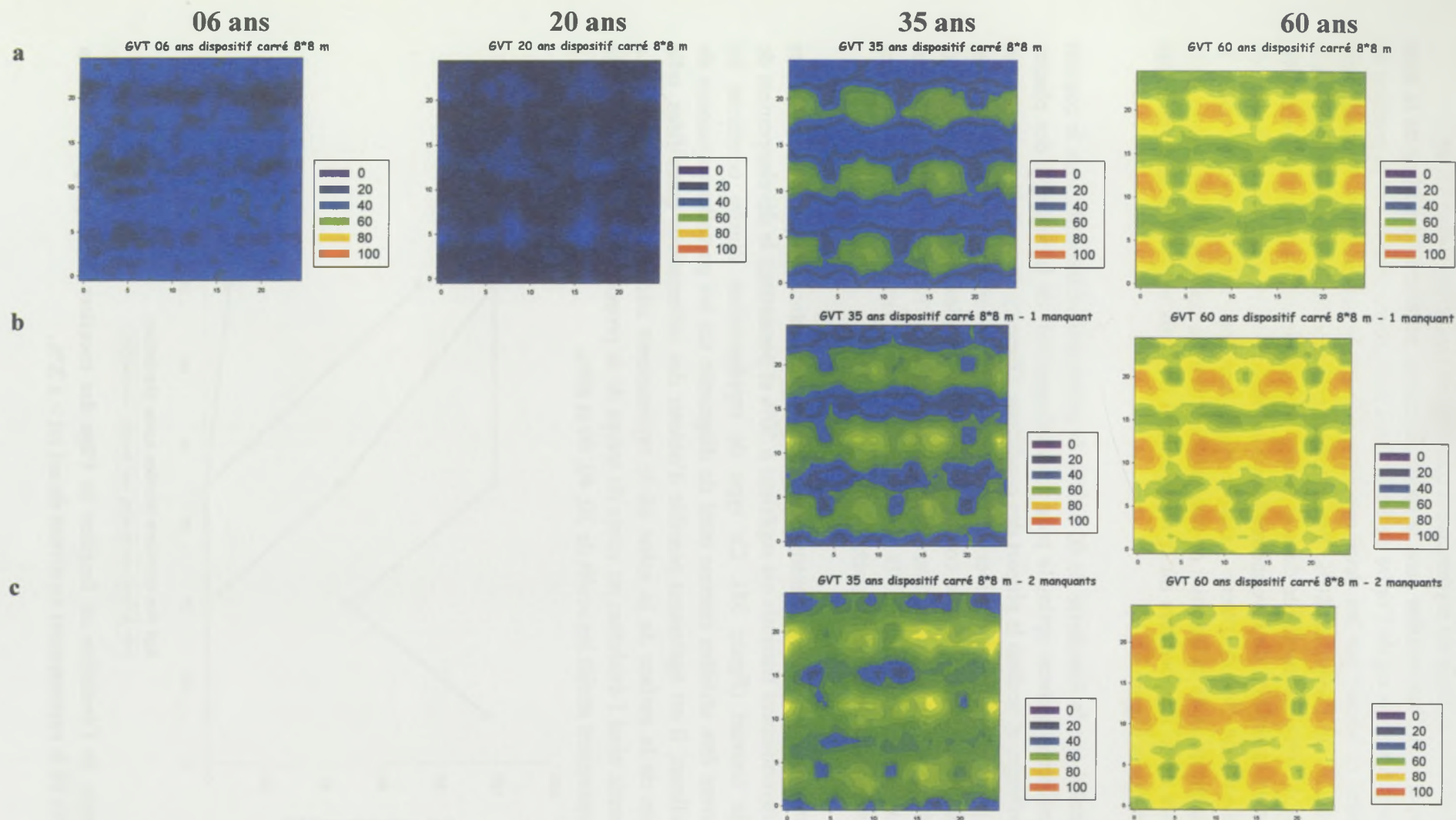


Figure 37 : Carte de répartition du rayonnement transmis pour (a) des cocotiers de 6, 20, 35 et de 60 ans avec un dispositif régulier de plantation en carré de 8 m de côté, (b) pour des cocotiers de 35 et de 60 ans avec un cocotier manquant dans la scène et (c) pour des cocotiers de 35 et de 60 ans avec deux cocotiers manquants dans la scène.

Lorsque le motif de plantation est altéré par la disparition d'un cocotier au centre du dispositif, la répartition spatiale du rayonnement transmis est modifiée (figure 37, b).

A 35 ans, la disparition d'un cocotier dans la scène augmente nettement la surface de la zone où le rayonnement transmis est de l'ordre de 60%. Dans cette zone, centrée sur la position du cocotier manquant et bornée par les deux cocotiers voisins, le rayonnement transmis peut atteindre des valeurs de l'ordre de 80%. Par ailleurs, la géométrie des autres zones, où le rayonnement est de 60%, est modifiée dans le sens d'une augmentation de surface. Cet effet sur la quantité et la répartition du rayonnement sous le couvert est plus nettement observé 60 ans après la plantation des cocotiers. Lorsque deux cocotiers sont manquants dans le dispositif, l'augmentation de la quantité de rayonnement sous le couvert et l'extension de la surface des zones entre les cocotiers où le rayonnement transmis est le plus important sont d'autant plus marquées (figure 37, c).

Beer (1997) a établi que la fourchette de 40 à 60% de rayonnement transmis sous le couvert pouvait être considérée comme optimale pour le développement de la majorité des plantes tolérantes à l'ombrage, et ce dans la plupart des conditions. Disposer de seuil de rayonnement, à partir duquel il est possible de cultiver telle ou telle culture, permettrait d'interpréter les cartes de rayonnement transmis sous le couvert de cocotiers établies en terme d'opportunité, vis-à-vis du facteur lumière, de cultiver telle ou telle culture. Ne disposant pas de ces références, on a retenu, pour la suite, la valeur de 50 % pour représenter le seuil où des cultures sont susceptibles de se développer.

A partir des cartes de rayonnement transmis obtenues par simulation, on peut alors localiser les zones où le rayonnement transmis est supérieur à 50% et permettrait le développement de cultures sous le couvert (figure 38). Ce type de représentation illustre comment les simulations peuvent être utilisées comme outil de diagnostic sur les parcelles paysannes de cocotiers. Par ailleurs, il est également possible d'obtenir des informations quantifiées, telle que la proportion de la surface de la scène où le rayonnement atteint un certain seuil. La figure 39 représente ainsi l'évolution au cours du temps de la proportion de la surface de la scène où le rayonnement atteint les seuils de 20, 40, 60 et 80%.



Figure 38: exemple de l'évolution en fonction de l'âge des cocotiers de la proportion de la surface de la scène où le rayonnement au niveau du sol est > à X%.

Age des cocotiers
GVT :

06 ans

20 ans

35 ans

60 ans

A : dispositif complet
Cocotiers plantés en
carrés de 8 m de côté

GVT 06 ans dispositif carré 8*8 m



GVT 20 ans dispositif carré 8*8 m



GVT 35 ans dispositif carré 8*8 m

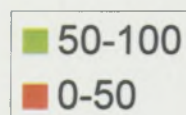


GVT 60 ans dispositif carré 8*8 m



% de rayonnement transmis

B : dispositif avec un
manquant



GVT 35 ans dispositif carré 8*8 m
avec 1 manquant

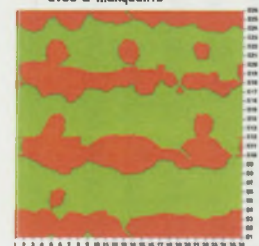


GVT 60 ans dispositif carré 8*8 m



c : dispositif avec deux
manquants

GVT 35 ans dispositif carré 8*8 m
avec 2 manquants



GVT 60 ans dispositif carré 8*8 m



Figure 39: exemple d'utilisation des cartes de répartition du rayonnement sous le couvert de cocotiers simulées via Archimed pour prédire les possibilités d'association de cultures (ici seuil X = 50 %)

La plate-forme Archimed permet de quantifier et d'analyser la répartition spatiale du rayonnement transmis au cours du développement d'un peuplement monospécifique de cocotiers. En fonction d'un seuil à fixer, ces simulations permettent d'identifier des stades et des zones préférentielles pour l'installation de culture sous le couvert de cocotiers. Les exemples d'utilisation des simulations montrent comment, en réalisant des expériences virtuelles, la plate-forme Archimed peut constituer un outil pour le diagnostic et la conception de systèmes de culture.

A compter de l'entrée en production des cocotiers, la quantité moyenne de rayonnement transmis sous le couvert des parcelles paysannes évolue selon la même tendance que celle décrite par Nelli *et al.*, (1974). A partir de 45 ans, plus de 50% du rayonnement en moyenne est transmis au sol, et à 60 ans, 65 % du rayonnement est transmis au sol. La quantité de rayonnement est plus importante entre les cocotiers situés sur une même ligne qu'entre les lignes de cocotiers. Cinquante ans après la plantation des cocotiers, le rayonnement transmis atteint 60% sur environ 40 % de la surface de la parcelle. A partir de 50 ans après la plantation des cocotiers, le développement de cultures sous le couvert ne semble donc pas limité par la ressource lumineuse, qui apparaît au moins dans certaines zones, comme supérieure au seuil proposé par Beer (1997).

Mais la ressource lumineuse doit être mise en relation avec les autres éléments du milieu pour juger des possibilités d'associer des cultures sur les parcelles.

III-3-3) Encombrement racinaire

III-3-3-1) Problématique de l'évaluation de l'encombrement racinaire sur des parcelles paysannes

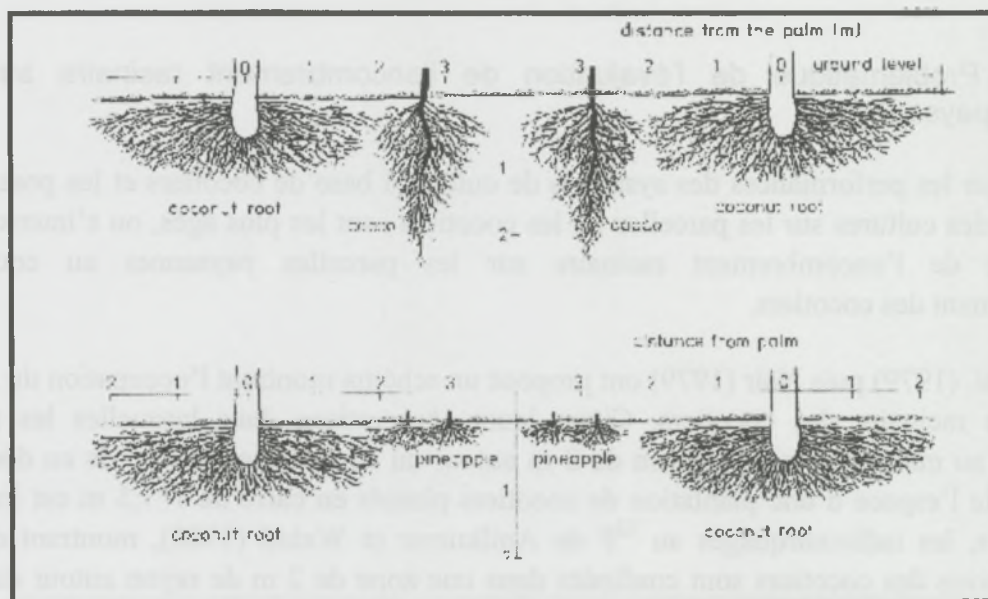
Pour estimer les performances des systèmes de culture à base de cocotiers et les possibilités d'associer des cultures sur les parcelles où les cocotiers sont les plus âgés, on s'interroge sur l'évolution de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes au cours du développement des cocotiers.

Nelliat *et al.* (1979) puis Nair (1979) ont proposé un schéma montrant l'occupation du sol par le système racinaire des cocotiers. Citant leurs observations dans lesquelles les racines s'étendent au maximum sur un rayon de 2 m autour du stipe des cocotiers, ils en déduisent que 75% de l'espace d'une plantation de cocotiers plantés en carré de 7*7,5 m est inutilisé. Par ailleurs, les radiomarquages au ³²P de Anilkumar et Wahid (1988), montrant que les racines actives des cocotiers sont confinées dans une zone de 2 m de rayon autour du stipe, confirmeraient la proposition de Nelliat *et al.* La plupart des racines de cocotiers se retrouvent dans les 60 premiers cm de sol (Anilkumar et Wahid, 1988).

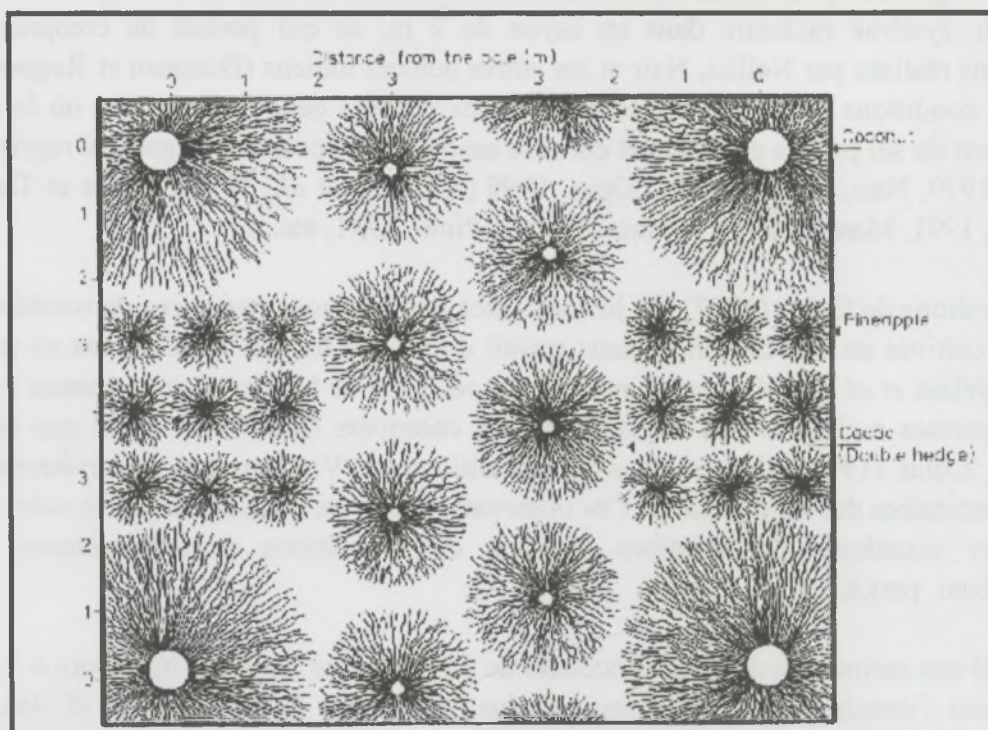
Or, dans les grandes plantations indiennes, les cocotiers subissent un cernage racinaire qui contraint le système racinaire dans un rayon de 2 m, ce qui permet de comprendre les observations réalisés par Nelliat, Nair et les autres auteurs indiens (Bonneau et Rognon, com. pers). Ces conditions de culture ne sont jamais explicitées dans la littérature où le schéma d'occupation du sol par les cocotiers et cultures associées est pourtant largement repris (figure 40, Nair, 1979, Nair, 1983 et 1993, Opio, 1999 ; Chantry *et al.*, 1986, Darvis et Tarrigans, 1990, Das, 1991, Mandal, 1991 ; Mahindapala et Pinto, 1991, etc...).

Les observations de Colas (1997) sur la croissance des systèmes racinaires de cocotiers et de cacaoyers cultivés en association (et sans travail du sol particulier) contredisent en revanche celles de Nelliat *et al.* (1974). Contrairement aux résultats de Nelliat où les volumes exploités par les systèmes racinaires des cocotiers et des cacaoyers (figure 40) n'ont pas de partie commune, Colas (1997) observe dans les conditions du Vanuatu, un enchevêtrement des systèmes racinaires des deux plantes. Ces observations ont été confirmées par la suite dans de nombreuses situations d'associations et dans des conditions pédo-climatiques variées (Jourdan, com. pers.).

La majorité des racines primaires de cocotiers de 14 ans a une longueur inférieure à 7 m mais elles peuvent s'étendre latéralement jusqu'à plus de 10 m de la base du stipe (Colas, 1997). Dans ce même travail, Colas a montré que 67 % des racines primaires sont localisées entre les 10 et 60 premiers cm du sol. A partir de ses observations de cocotiers adultes (14 et 26 ans), Colas suggère que la mortalité des racines primaires est faible. Le développement latéral des racines primaires se poursuivrait donc au cours du développement des cocotiers. Il pourrait constituer, dans les horizons superficiels, un obstacle physique au développement de cultures sur les parcelles de cocotiers limitant ainsi le volume de sol utilisable par d'autres cultures.



Représentation schématique de la répartition verticale des racines dans une association de culture (extrait de Nelliati *et al.*, 1974)



Représentation schématique de la répartition spatiale des racines dans une association de culture (extrait de Nelliati *et al.*, 1974)

Figure 40 : Encombrement racinaire dans les systèmes agroforestiers à base de cocotiers (reproduit de Nelliati *et al.*, 1974)

Sen *et al.* (1983) ont étudié la répartition des racines de cocotiers et son évolution sur une chronoséquence composée de cocotiers Grand (WCT : Grand Ouest Africain) de 25, 50 et 75 ans cultivés en grandes plantations en Inde. Ils montrent que la répartition des racines de

cocotiers évolue peu avec l'âge des cocotiers : 86 % des racines de cocotiers dénombrées à 25 ans sont situées à 180 cm du stipe, 70% à 50 ans et 80% à 75 ans (Sen *et al.*, 1983). Toutefois, ces résultats, obtenus en Inde en grande plantation où il est très probable que les cocotiers subissent régulièrement un cernage racinaire (bien que les auteurs ne le précisent pas), sont difficilement extrapolables à d'autres conditions où le système racinaire des cocotiers ne serait pas contraint.

La caractérisation de l'encombrement du sol par les racines et de son évolution au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes visent à répondre aux questions suivantes :

- iv) quelle est l'évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes ?
- v) quel est l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur l'encombrement racinaire ?
- vi) quelles sont les conséquences de l'évolution de l'encombrement racinaire pour les possibilités d'association de culture sur les parcelles paysannes ?

Comme dans les précédentes parties, nous utilisons une approche synchronique (chronoséquence) pour reconstituer l'évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.

Comme pour bilan radiatif, différentes approches permettent d'évaluer l'encombrement racinaire : (1) des mesures de terrain - directes et indirectes - ou (2) une modélisation du système racinaire.

(1) Mesures de l'encombrement racinaire

Plusieurs références détaillent les différentes méthodes d'étude des systèmes racinaires et les limites de chacune (par exemple : Caldwell et Virginia, 1989, van Noordwijk *et al.*, 1996, Atkinson, 2000). Parmi ces différentes méthodes plus ou moins sophistiquées (observations sur excavations, tranchées, rhizotrons, radiomarquage, mesure de flux de sève, etc...) le nombre de racines (observé sous forme d'impacts sur les parois verticales d'une fosse) constitue un indicateur simple pour évaluer l'importance et la variabilité spatiale de la densité racinaire dans un espace donné (Huxley, 1999, Atkinson, 2000).

Compte-tenu de l'état actuel des recherches sur les systèmes racinaires dans les systèmes agroforestiers (essentiellement descriptives) et du niveau actuel de compréhension des interactions souterraines, le nombre de racines est un indicateur simple mais qui apparaît néanmoins comme suffisamment informatif dans la plupart des cas (Huxley, 1999).

Dans cette étude, le nombre de racines de cocotiers et le nombre total de racines dénombrées sur les parois verticales d'une fosse ont donc été retenus pour estimer l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes de cocotiers. Cependant, le comptage de racines étant une opération fastidieuse, il est souvent impossible d'avoir un nombre convenable d'échantillons pour pouvoir extrapoler les résultats d'une situation à une autre (Huxley, 1999).

Pour contourner les difficultés d'observation des systèmes racinaires, la modélisation, avec les expériences virtuelles qu'elle autorise, apparaît comme moyen d'analyse pertinent.

(2) *Modélisation*

Les modèles racinaires sont particulièrement dédiés à l'étude des cinétiques de croissance des racines et à la représentation spatiale de la répartition des racines, avec différents points de vues et niveaux de précision selon les objectifs recherchés (Pagès, *et al.*, 2000). Selon le point de vue adopté pour considérer le système racinaire, Pagès, *et al.* (2000) distinguent deux types de modèles:

- (1) des modèles de longueur et de densité racinaire qui décrivent le système racinaire par rapport à un volume de sol. Ces modèles considèrent généralement une seule dimension et fournissent une représentation simplifiée de la forme du système racinaire, dans laquelle toutes les racines sont équivalentes et non connectées. Ces modèles sont particulièrement adaptés pour étudier les dynamiques hydrauliques, pour servir de modules dans les modèles de culture (Pagès *et al.*, 2000). Ils apparaissent en revanche peu adaptés pour analyser l'encombrement racinaire sur des parcelles de cocotiers, dont le système racinaire est caractérisé par une architecture très régulière (Colas, 1997).
- (2) des modèles architecturaux qui considèrent le système racinaire comme un ensemble d'axes connectés. Ils permettent des représentations tridimensionnelles concrètes de la géométrie et de la structure des systèmes racinaires. L'architecture des systèmes racinaires est décrite avec des perspectives dynamiques à plus ou moins long terme suivant les modèles. On peut ainsi distinguer des modèles statiques et des modèles dynamiques, bien que la frontière entre ces deux types de modèles soient parfois floue (Pagès *et al.*, 2000). Les modèles architecturaux dynamiques semblent particulièrement adaptés pour estimer l'évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement du système racinaire des cocotiers.

Jourdan (1995) a modélisé l'architecture et le développement du système racinaire du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Ce modèle, appelé RACINE, est basé sur le concept « d'unité architecturale » développé pour décrire l'architecture des arbres (Hallé et Oldman, 1970), puis sur le concept d'« axe de référence » pour modéliser la croissance, la ramification et la mortalité des méristèmes (de Reffye *et al.*, 1991). Le modèle permet une représentation tridimensionnelle réaliste du système racinaire du palmier à huile et de son développement entre la plantation et la vingtième année après plantation (Jourdan et Rey, 1997). Son utilisation a ensuite été étendue aux cocotiers, en reparamétrant à partir d'observations de terrain les maquettes architecturales tridimensionnelles pour des cocotiers cultivés en peuplement monospécifique et en association avec des cacaoyers (Colas, 1997). Les observations de Colas (1997) sur l'architecture du système racinaire des cocotiers ont été réalisées sur des cocotiers en pépinière puis en plantation pour des cocotiers âgés de 7, 14 et 26 ans.

La possibilité d'étudier le système racinaire des cocotiers par simulation était, avant ce travail, limitée aux 26 premières années après la plantation des cocotiers. Ceci en raison de la complexité du système racinaire à 26 ans, de la complexité de la représentation virtuelle tridimensionnelle (sous forme de polygones) du système racinaire qui demandait alors un temps de calcul très important (de l'ordre de plusieurs jours). Par ailleurs, on ne disposait pas de connaissance sur le reste du cycle de développement des cocotiers, ni en grande plantation, ni en parcelles paysannes.

Un des objectifs du travail de thèse a donc été de simplifier le modèle existant afin de réduire le temps de calcul, la taille des maquettes numériques (en simplifiant leur géométrie et en supprimant les structures qui correspondaient aux racines moyennes et fines ainsi qu'aux racines verticales sous le stipe). Paramétrer les maquettes architecturales du système racinaire pour des cocotiers plus âgés permet alors d'utiliser ce modèle pour étudier l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers. Ce modèle constitue alors un outil permettant de représenter l'architecture et la répartition spatiale du système racinaire des cocotiers.

La caractérisation de l'encombrement racinaire combine deux approches : (1) une approche de type « diagnostic » avec des mesures directes du nombre de racines comptées sur les parois verticales d'une fosse et (2) une approche de type « modélisation » en utilisant les simulations du modèle RACINE comme outil d'évaluation de l'encombrement par les racines primaires de cocotiers afin de tester l'effet de l'altération du motif de plantation avec l'âge des cocotiers.

La combinaison de ces deux approches permettra, comme dans la section précédente, de dépasser le diagnostic d'un nombre limité de situations existantes pour explorer une plus large gamme de situation (différents stades de développement des cocotiers, différents dispositifs de plantation)

III-3-3-2) Méthodes et dispositifs retenus

a) Caractérisation de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes :

a-1) Dispositif

L'encombrement racinaire dépendant fortement du type de sol et de la densité des espèces ligneuses sur la parcelle, on a sélectionné parmi les parcelles de la zone Centre-Est (qui présente un même type de sol profond) des parcelles présentant une densité moyenne de 150 ± 30 cocotiers. Au sein de cette sélection, on a également veillé à ce que la densité d'espèces ligneuses soit la plus comparable ou cohérente possible d'une parcelle à l'autre.

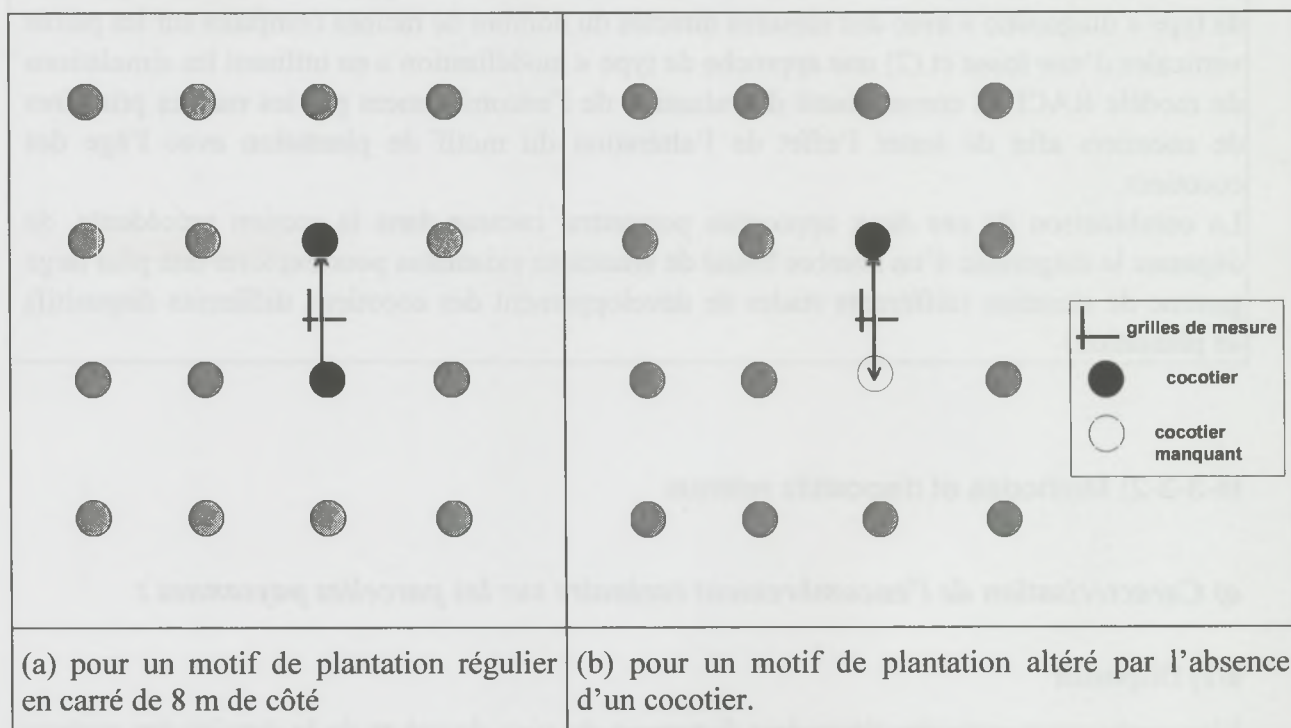
Cinq parcelles représentant différents stades de la trajectoire agropastorale ont ainsi été retenues. A cette sélection, on a ajouté deux parcelles pour représenter les stades de développement les plus avancés des cocotiers dans la trajectoire agropastorale. Ces parcelles sont situées en haut du versant dans la zone Ouest, où d'après la carte des potentialités agronomiques de Quantin (1982) le sol est comparable à celui retrouvé dans la zone Centre-Est. Par ailleurs, pour tenter d'éviter le biais lié au facteur pente, on n'a retenu que des parcelles situées dans des zones de pente nulle ou faible (inférieure à 5%).

Au final, nous avons retenu une chronoséquence composée de 7 parcelles paysannes qui représente les différents stades de la trajectoire agropastorale, sur une période comprise entre la 5^{ème} et la 78^{ème} année après la plantation des cocotiers. Les parcelles composant cette chronoséquence ont également été sélectionnées pour étudier le bilan radiatif.

Pour s'affranchir au maximum de l'incidence des autres arbres associés aux cocotiers et pouvoir comparer ces différentes parcelles entre elles, on se situera, autant que possible, dans

des zones où les espèces associées ont une faible probabilité de se retrouver dans l'aire de caractérisation de l'encombrement racinaire.

Pour caractériser l'évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers, on se situera au milieu de l'interligne d'un motif de plantation régulier des cocotiers (figure 41, a). Pour estimer l'effet de l'altération du motif de plantation, on se situera dans des zones de trouées, *i.e.* au sein d'un motif de plantation où il manque un cocotier depuis au moins une année (figure 41, b). durée au bout de laquelle les racines primaires de cocotiers seraient dans les conditions du Vanuatu, entièrement dégradées (Jourdan, comm. pers.).



Note : les racines sont dénombrées sur 2 parois contiguës de la fosse. Les résultats sont exprimés en nombre moyen de racines (selon le type) en fonction de la profondeur d'observation (de 10 cm en 10 cm).

Figure 41: Position des grilles d'évaluation de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes (a) pour un motif de plantation régulier et (b) pour un motif de plantation altéré par l'absence d'un cocotier.

a-2) Protocole

Sur chacune de ces parcelles, une fosse racinaire carrée de 1m de côté sur 1m de profondeur soit 1 m³ située à mi-distance entre les cocotiers (3,5m de la base des cocotiers) a été creusée. Des cartes de densité racinaire ont été réalisées en comptant, à l'aide d'une grille de 1m de large sur 0,9 m de haut soit 90 cm² et avec une maille de 10 cm de haut sur 20 cm de long, toutes les racines présentes sur deux faces contiguës de la fosse (voir photo en annexe 13).

Les parois de la fosse sont d'abord préparées pour l'observation en grattant le sol sur quelques cm afin de faire ressortir les pointes racinaires ainsi que les racines sectionnées. La grille de mesure est alors posée sur l'espace dégagé et les différentes racines de ligneux sont identifiées et comptées. Pour identifier les racines, on s'appuie sur les critères d'odeur, de forme, de couleur, de structure, etc... caractéristiques des différentes espèces, qui sont en général

couleur, de structure, etc... caractéristiques des différentes espèces, qui sont en général connues des paysans. En cas de doute pour identifier une espèce, on utilise comme référence des échantillons de racines prélevés à la base des espèces d'arbres susceptibles de se trouver dans la fosse. Le nombre et le diamètre de chaque type de racines présentes dans chaque maille de la grille sont notés sur une fiche de mesure (annexe 13). Des photos complètent les observations et le comptage.

Les différents types de racines de cocotiers ont été distingués d'après les classes de diamètre suivantes : (1) un diamètre de plus de 5 mm correspond aux racines primaires de cocotiers, (2) un diamètre compris entre 4,9 et 1,5 mm correspond aux racines secondaires de cocotiers et (3) un diamètre inférieur à 1,4 mm correspond aux racines fines de cocotiers. Pour toutes les autres espèces, on distingue deux types de racines : (1) des « grosses racines » avec un diamètre supérieur à 5 mm et (2) des « racines fines » avec un diamètre inférieur à 5mm.

b) Le modèle RACINE : outil de simulation de l'encombrement racinaire sur les parcelles de cocotiers

Le principe du modèle est détaillé dans l'article de Jourdan et Rey (1997).

b-1) Simplification et calage du modèle

Les hypothèses simplificatrices réalisées pour simuler des systèmes racinaires de cocotiers âgés de plus de 20 ans sont les suivantes :

- (1) la longueur maximale des racines primaires superficielles observée sur des cocotiers GVT âgés de 35 ans, plantés sur la station expérimentale de Saraoutou est prise comme référence pour les cocotiers plus âgés,
- (2) les racines primaires horizontales seules sont simulées, c'est à dire que l'on ne simule pas les racines primaires verticales situées sous le stipe ni les ramifications des racines primaires horizontales
- (3) le pas de temps de calcul entre chaque simulation est l'année et non la journée.

Pour le calage du modèle simplifié, des cartes d'impacts racinaires sur grille ont été réalisées au champ à 3,5 m du stipe de cocotiers GVT âgés de 35 ans et cultivés en grande plantation. Par ailleurs, des grilles simulées ont été également disposées sur les scènes virtuelles à 3,5 m des maquettes numériques tridimensionnelles. Le calage du modèle a pu être réalisé par comparaison des cartes d'impacts observées et simulées.

b-2) Plan et protocole de simulation

Pour des cocotiers GVT âgés de 6, 20, 35 60 et 78 ans (avec une densité moyenne de 156 cocotiers.ha⁻¹) on simule les systèmes racinaires sur des scènes complètes de 30 cocotiers plantés en carré de 8 m de côté. Pour les cocotiers de 35, 60 ans et 78 ans, on simule également le système racinaire des cocotiers pour des scènes comportant 1 puis 2 cocotiers manquants afin de tester l'effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement par les racines primaires de cocotiers. Pour cela, on a fait l'hypothèse de destruction immédiate des racines du cocotier manquant dans le dispositif en s'appuyant sur les observations

réalisées au Vanuatu sur la vitesse de dégradation des racines de cocotiers (Jourdan, com. pers.).

Les étapes de la simulation sont détaillées dans l'article de Jourdan et Rey (1997)

III-3-3-3) Résultats : évolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers

a) Evolution de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes

La figure 42 montre la répartition par horizon du nombre de racines primaires de cocotiers, du nombre total de racines de cocotiers (*i.e.* tous types confondus) et du nombre total de racines (*i.e.* toutes espèces et tous types confondus, cocotier inclus) sur des parcelles de la trajectoire agropastorale où les cocotiers sont respectivement âgés de 5, 8, 35, 68 et 78 ans. Les racines ont été dénombrées sur les parois de fosses creusées au milieu de l'interligne.

A 5 et 8 ans après la plantation des cocotiers, la présence de racines primaires de cocotiers au milieu de l'interligne est marginale (0 racine à 5 ans et 1 racine relevée à 8 ans). A 8 ans, on retrouve des « racines d'exploitation » des cocotiers (racines fines), principalement localisées dans les 25 premiers cm, et la présence des racines d'espèces autres que le cocotier domine nettement le profil racinaire. La majorité de ces racines est située en surface, leur nombre décroît ensuite avec la profondeur d'observation.

Trente cinq ans après la plantation des cocotiers, on note la présence de racines primaires de cocotiers au milieu de l'interligne. La plupart de ces racines sont situées entre 10 et 20 cm de profondeur. La présence d'autres racines de cocotiers est plus importante qu'à 8 ans, et toujours principalement concentrée dans les 25 premiers cm.

Les parcelles où les cocotiers sont âgés de 68 et 78 ans sont situées dans la zone Ouest, en haut de versant. Dans cette zone, le sol s'est avéré être nettement moins profond que dans la zone Centre-Est : à 50 cm de profondeur environ on rencontre le socle de corail. Les observations réalisées sur ces parcelles ne peuvent donc pas être comparées à celles réalisées sur les autres parcelles de la chronoséquence. La répartition et le nombre de racines sur ces parcelles doivent donc être considérés comme une indication de l'évolution de la densité racinaire au milieu de l'interligne sur les plantations où les cocotiers sont âgés. A 68 ans et à 78 ans, le nombre de racines primaires au milieu de l'interligne est moins important qu'à 35 ans.

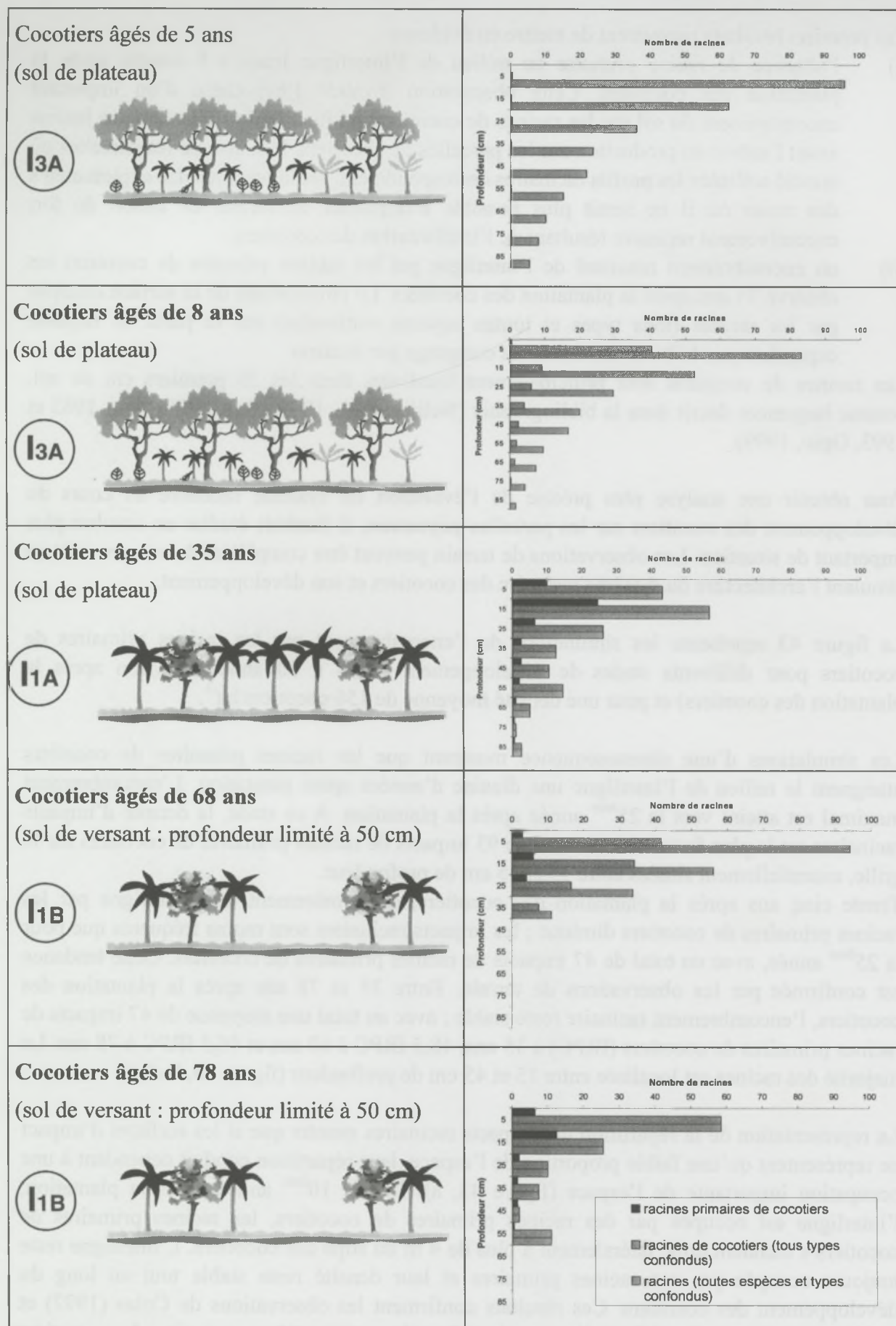


Figure 42 : Evolution de l'encombrement racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes (trajectoire agropastorale).

Ces premiers résultats permettent de mettre en évidence :

- (i) l'absence de racine primaire au milieu de l'interligne jusqu'à 8 années après la plantation des cocotiers. Cette observation invalide l'hypothèse d'un important encombrement du sol par les racines de cocotiers qui justifierait l'abandon des jardins avant l'entrée en production sur les parcelles de cocotiers. Notons que les parcelles où ont été réalisées les profils racinaires correspondaient, selon les dires des exploitants, à des zones où il ne serait plus possible d'implanter un jardin, en raison du fort encombrement racinaire résultant de l'implantation des cocotiers.
- (ii) un encombrement maximal de l'interligne par les racines primaires de cocotiers est observé 35 ans après la plantation des cocotiers. Le pourcentage de la surface occupée par les racines (tous types et toutes espèces confondus) sur la paroi ne dépasse cependant pas 1,7% de la surface de comptage par horizon.

Les racines de cocotiers sont principalement localisées dans les 25 premiers cm de sol, comme largement décrit dans la bibliographie (Nelliat *et al.*, 1974, Nair, 1979, Nair, 1983 et 1993, Opio, 1999).

Pour obtenir une analyse plus précise de l'évolution du système racinaire au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes, il faudrait étudier un nombre plus important de situation. Les observations de terrain peuvent être complétées à moindre coût en simulant l'architecture du système racinaire des cocotiers et son développement.

La figure 43 représente les simulations de l'encombrement par les racines primaires de cocotiers pour différents stades de développement (de 5 à 80 années environ après la plantation des cocotiers) et pour une densité moyenne de 156 cocotiers.ha⁻¹.

Les simulations d'une chronoséquence montrent que les racines primaires de cocotiers atteignent le milieu de l'interligne une dizaine d'années après plantation. L'encombrement maximal est atteint vers la 25^{ème} année après la plantation. A ce stade, la densité d'impacts racinaires est la plus forte avec un total de 93 impacts de racines primaires de cocotiers sur la grille, essentiellement situées entre 15 et 45 cm de profondeur.

Trente cinq ans après la plantation des cocotiers, l'encombrement de l'interligne par les racines primaires de cocotiers diminue ; les impacts racinaires sont moins fréquents que pour la 25^{ème} année, avec un total de 47 impacts de racines primaires de cocotiers. Cette tendance est confirmée par les observations de terrain. Entre 35 et 78 ans après la plantation des cocotiers, l'encombrement racinaire reste stable ; avec au total une moyenne de 47 impacts de racines primaires de cocotiers (IRPC) à 35 ans, 48,5 IRPC à 60 ans et 46,5 IRPC à 78 ans. La majorité des racines est localisée entre 15 et 45 cm de profondeur (figure 43, b et c).

La représentation de la répartition des impacts racinaires montre que si les surfaces d'impact ne représentent qu'une faible proportion de l'espace, leur répartition conduit cependant à une occupation importante de l'espace (figure 43, a). Dès la 10^{ème} année après la plantation, l'interligne est occupée par des racines primaires de cocotiers, les racines primaires de cocotiers s'étendent donc latéralement à plus de 4 m du stipe des cocotiers. L'interligne reste toujours occupée par ces racines primaires et leur densité reste stable tout au long du développement des cocotiers. Ces résultats confirment les observations de Colas (1997) et remettent en cause le schéma d'occupation du sol par le système racinaire des cocotiers proposé par Nelliat *et al.* (1974), où le développement des racines de cocotiers est confiné dans un rayon de 2 m autour du stipe des cocotiers).

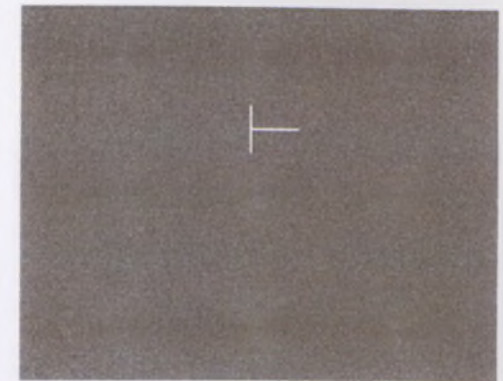
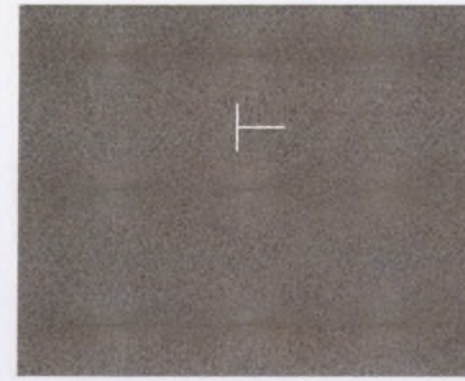
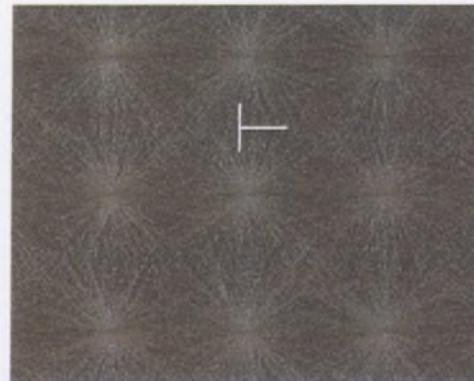
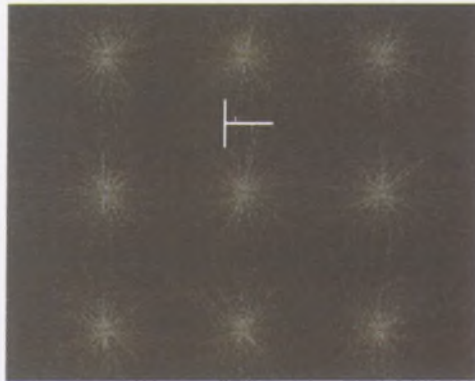
GVT 05 ans –dispositif carré 8*8

GVT 10 ans –dispositif carré 8*8

GVT 15 ans –dispositif carré 8*8

GVT 20 ans –dispositif carré 8*8

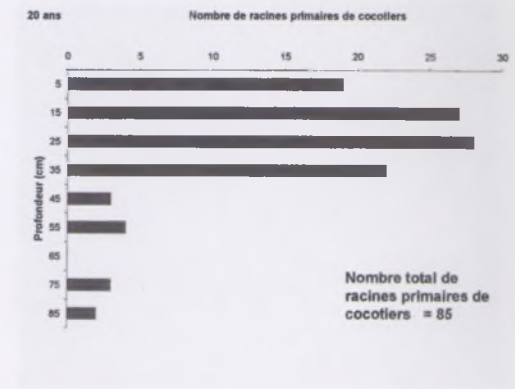
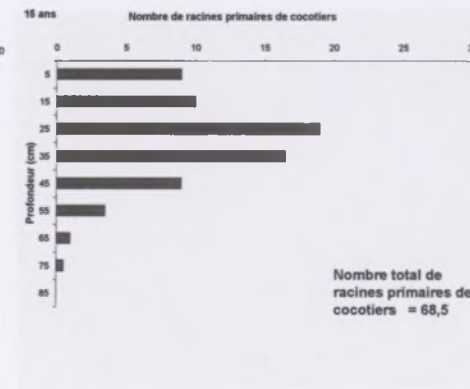
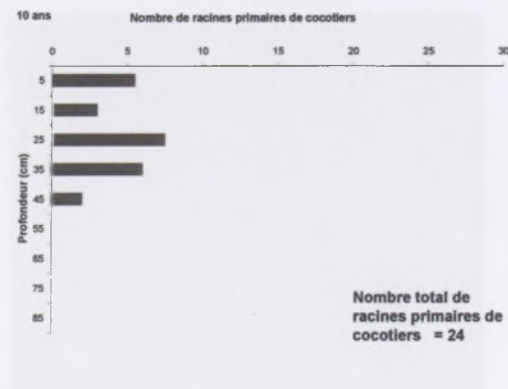
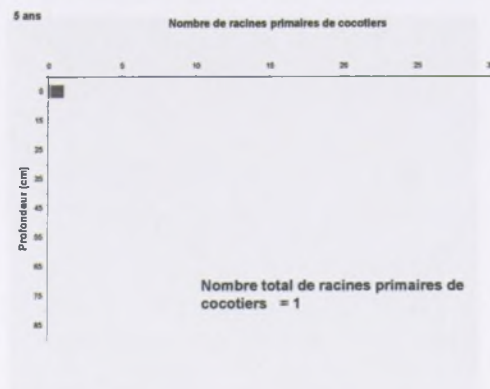
a



b



c



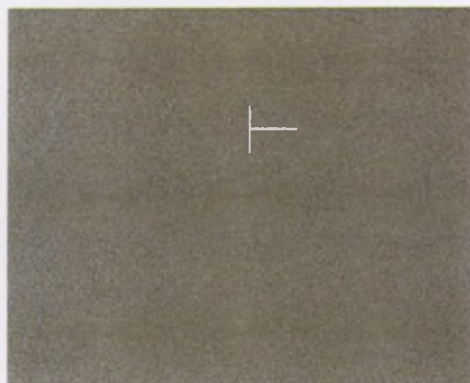
GVT 25 ans –dispositif carré 8*8

GVT 35 ans –dispositif carré 8*8

GVT 60 ans –dispositif carré 8*8

GVT 78 ans –dispositif carré 8*8

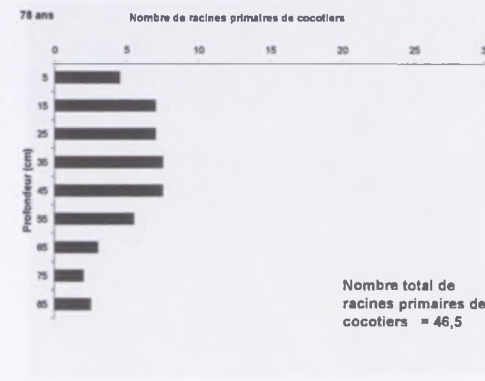
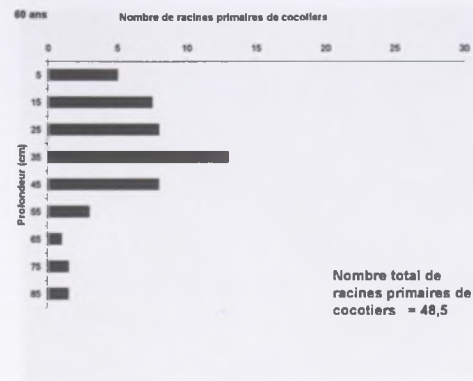
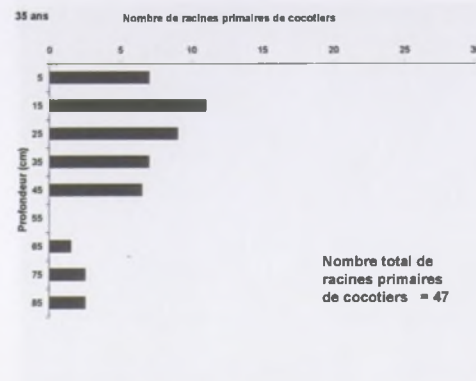
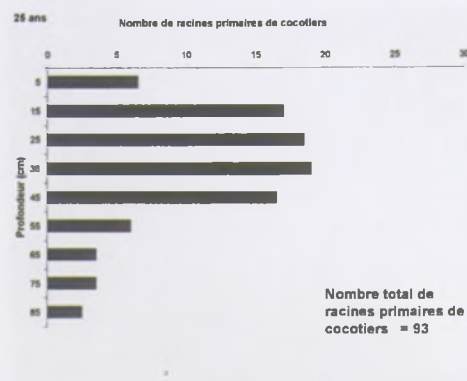
a



b



c



L'altération du motif de plantation avec l'âge des cocotiers a été mise en évidence au cours de la caractérisation des systèmes de culture. On recherche maintenant quel est l'effet de ce processus sur l'encombrement racinaire dans les parcelles paysannes.

b) Effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement racinaire

Sur les parcelles où les cocotiers sont âgés de 35, 68 et 78 ans, les différents types de racines de cocotiers et espèces ligneuses associées ont été dénombrés dans un motif de plantation altéré (par la disparition d'un cocotier) et dans un motif régulier. On compare les résultats de ces deux observations pour mettre en évidence l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur l'encombrement racinaire des parcelles paysannes (figure 44).

A 35 ans, le nombre de racines et en particulier le nombre de racines primaires est moins important au milieu de l'interligne du motif altéré que dans le motif régulier (29 racines primaires de cocotiers dans le motif altéré contre 50 dans le motif régulier).

A 68 ans, l'encombrement par les racines primaires de cocotiers est similaire que le motif de plantation soit altéré ou pas. A 78 ans, le nombre de racines et en particulier de racines primaires est également moins important au milieu de l'interligne du motif altéré que dans le motif régulier (en moyenne 9,5 racines primaires de cocotiers dans le motif altéré contre 24,5 dans le motif régulier) (figure 44). L'importance des racines d'autres espèces entre les motifs réguliers ou altérés n'a pas de signification vis à vis de l'effet de l'altération du motif de plantation (c'est plutôt un biais dû aux compromis nécessairement réalisés pour choisir la localisation de la fosse).

Ces observations permettent difficilement de conclure sur l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur l'encombrement racinaire dans les parcelles paysannes. Le recours à la modélisation permet alors de vérifier si les variations d'encombrement racinaire observées entre les motifs de plantation (réguliers ou altérés) se retrouve ou pas sur des situations simplifiées générées par le modèle. On a donc cherché à mettre en évidence l'effet de l'altération du motif de plantation des cocotiers sur l'encombrement racinaire en confrontant les simulations réalisées (a) pour des scènes complètes – dispositif régulier (b) pour des dispositifs altérés par l'absence d'un cocotier ou (c) de deux cocotiers.

Quelque soit l'altération du motif de plantation et l'âge des cocotiers, les racines primaires de cocotiers ont la même répartition, elles occupent quasiment tout l'espace entre les cocotiers (figure 45).

Pour une même classe d'âge, on retrouve logiquement moins d'impact de racines primaires par unité de surface (IRPC) dans l'interligne des motifs altérés que dans l'interligne des motifs réguliers. Le nombre d'impact de racines primaires est en revanche similaire si le motif de plantation est altéré par la disparition d'un ou de deux cocotiers. Ainsi à 35 ans, un total moyen de 47 IRPC est obtenu par simulation pour un dispositif régulier, 39,5 IRPC pour un dispositif de plantation comprenant un manquant et 38 IRPC pour un dispositif avec deux cocotiers manquants. A 60 ans, la simulation d'un dispositif régulier génère un total de 48,5

IRPC, 39,5 IRPC pour un dispositif de plantation avec un manquant et 38 IRPC pour deux cocotiers manquants dans le dispositif de plantation. Les variations du nombre d'impact de racines primaires sont également peu importantes à 78 ans, où l'on passe de 46,5 IRPC pour la simulation avec le dispositif régulier, à 41,5 IRPC et 38 IRPC pour les simulations avec respectivement un et deux cocotiers manquants dans le dispositif (figure 45). La répartition en profondeur des racines n'apparaît pas modifiée par l'altération du motif de plantation (figure 45).

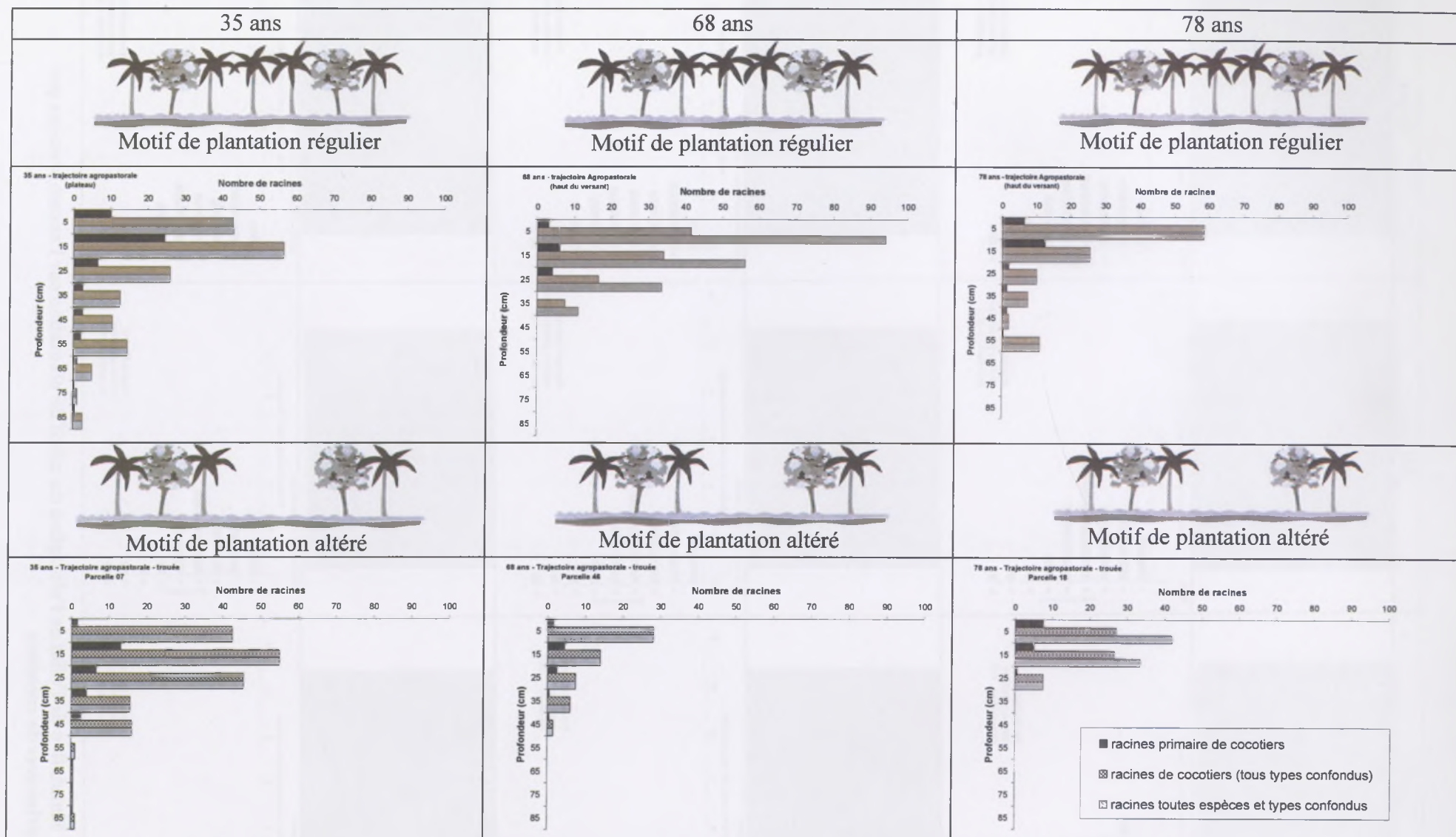


Figure 44 : Effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement racinaire des parcelles paysannes (trajectoire agropastorale)

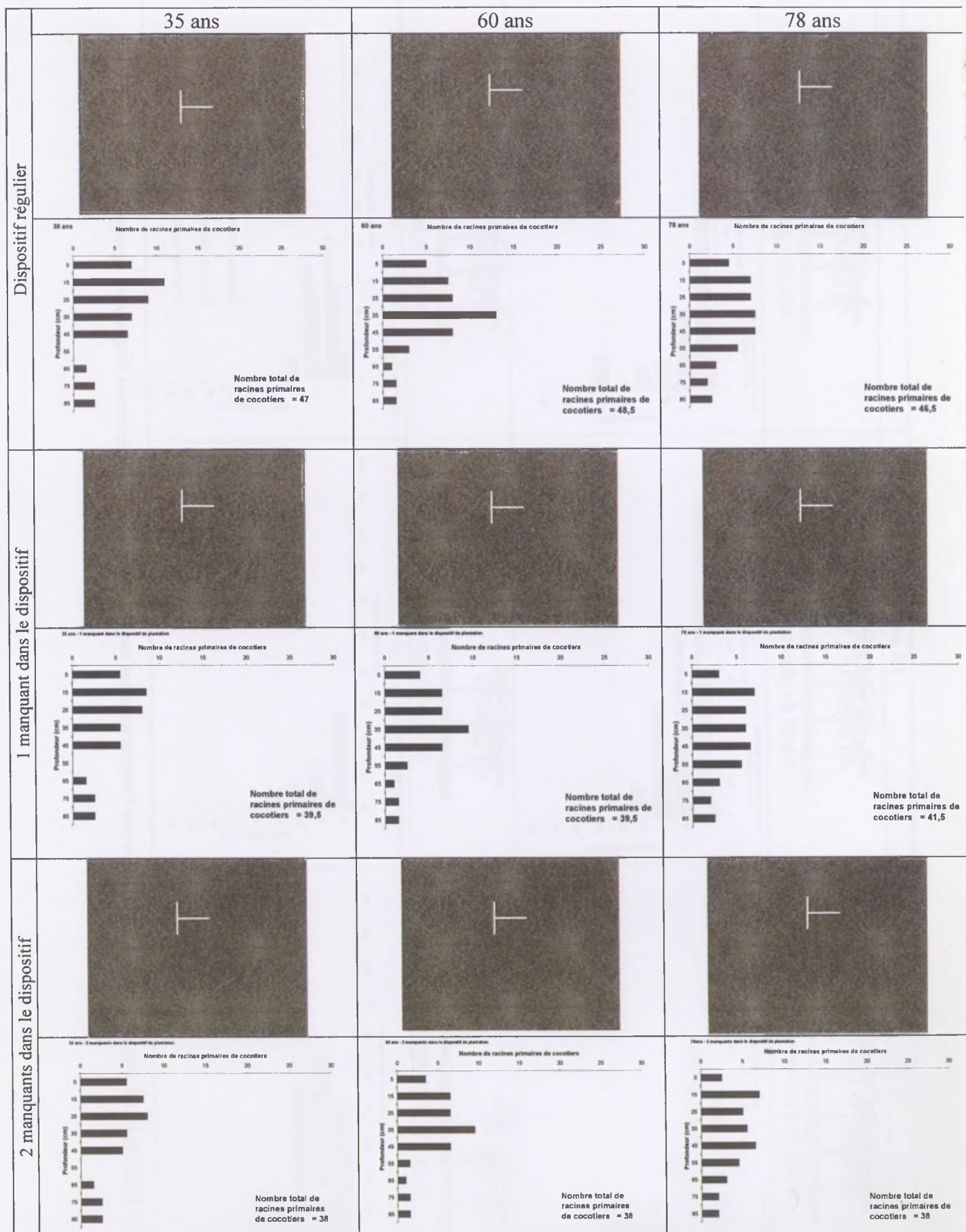


Figure 45 : Simulation de l'effet de l'altération du motif de plantation sur l'encombrement par les racines primaires de cocotiers

L'altération du motif de plantation des cocotiers n'entraîne pas de modification notable de l'encombrement racinaire sur les parcelles de cocotiers. Des racines primaires de cocotiers occupent l'interligne dès la 10^{ème} année après la plantation des cocotiers et cette occupation perdure ensuite au cours du développement des cocotiers, que le motif de plantation soit altéré ou pas. Ces résultats sont en contradiction avec les observations de Nelli *et al.* (1974), à partir desquelles ces auteurs suggéraient que les ressources du milieu étaient sous exploitées et pouvaient être mieux valorisées en associant des cultures aux cocotiers.

L'encombrement racinaire pourrait au contraire constituer, dès la 10^{ème} année après la plantation des cocotiers puis tout au long du cycle, un facteur limitant probable de l'association de culture sur les parcelles de cocotiers. Dans cette étude, on s'est particulièrement intéressé aux racines primaires de cocotiers, racines d'ancrage et d'exploration mais ces racines n'occupent qu'une relativement faible proportion en surface d'occupation du sol. Pour caractériser l'encombrement par le système racinaire des cocotiers, il faudrait également représenter les racines fines qui ont un rôle d'exploitation du milieu. Par ailleurs, les espèces ligneuses associées aux cocotiers participent également à l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes.

Les résultats de la caractérisation de l'encombrement racinaire sur les parcelles de cocotiers par comptage du nombre de racines (via des mesures de terrain et de simulation) restent difficiles à interpréter en terme fonctionnel : *i.e* en terme de relation de compétition inter et intra spécifique pour l'eau, les nutriments.

Par ailleurs, il est difficile de prédire quel pourrait être le « comportement » du système racinaire des cocotiers en association. Différentes études montrent une certaine plasticité des systèmes racinaires des espèces ligneuses cultivées en association avec des cultures herbacées (noyer –blé, Muliati et Dupraz, (en préparation) ou avec d'autres cultures pérennes (cocotier-cacoyer, Colas, 1997), cocotier-légumineuses arbustives, Vidhana and Liyanage, 1998) ou entre espèces forestières (liquidambar-pin, Mou *et al.*, 1997). Muliati et Dupraz ont, par exemple, mis en évidence une modification de l'architecture des noyers lorsque cultivés en association avec du blé. Les noyers présentent alors un profil racinaire homogène sur toute la profondeur ou inversé (avec plus de racines en profondeur qu'en surface). Cette modification de l'architecture racinaire est expliquée comme une « adaptation » à l'hétérogénéité du sol créée par les prélèvements des ressources par la culture associée. Les auteurs suggèrent qu'alors les hypothèses couramment admises pour la modélisation des systèmes racinaires (diminution de la densité racinaire avec la profondeur et la distance au tronc) ne permettent pas de prédire correctement les phénomènes de compétition pour l'eau et les nutriments dans le sol où les conditions hétérogènes prédominent pour les peuplements ligneux à faible densité (Muliati et Dupraz, en préparation).

Ce phénomène de plasticité racinaire pourrait être également à l'origine de différence entre l'architecture racinaire du cocotier en peuplement mono ou plurispécifique, limitant alors la possibilité d'utiliser des simulations obtenues à partir d'observations en peuplement monospécifique pour raisonner l'encombrement racinaire dans les conditions paysannes.

III-3-4) Dynamiques de la matière organique du sol

III-3-4-1) Les indicateurs de fertilité et l'évaluation de la matière organique

La teneur en matière organique du sol (MOS) intervient sur une large gamme de propriétés et de processus du sol, et à ce titre est considérée comme l'un des plus important composant de la fertilité du sol (Schroth *et al.*, 2003).

La matière organique contribue à la stabilité des composantes chimiques, physiques et biologique du sol. Elle dynamise l'activité de la faune du sol participant ainsi au maintien d'une structure aérée et perméable (Bertrand et Gigou, 2000 ; Craswell et Lefroy, 2001). La matière organique du sol constitue un réservoir d'éléments minéraux qui sont libérés dans la solution du sol lorsque la matière organique est dégradée. Par ailleurs, dans les sols, où prédominent des argiles à faible activité (argile 1:1), la capacité d'échange cationique dépend fortement de la teneur en matière organique du sol (Schroth *et al.*, 2003). Le rôle de la matière organique du sol est ici d'autant plus important que l'on se situe dans un contexte d'agriculture sans intrant chimique (Schroth *et al.*, 2003). D'une manière générale, la MOS est ainsi classiquement utilisée comme indicateur du niveau de fertilité physico-chimique et de la durabilité agroécologique (Bertrand et Gigou, 2000; Baize, 2000). Elle a en particulier été utilisée pour analyser la durabilité des systèmes agroforestiers (Torquebiau, 1992 ; Gajaseneni et Gajaseneni, 1999).

La teneur en matière organique du sol évolue suite à la mise en culture des terres et selon les pratiques mises en œuvre (Pieri, 1989 ; van Noordwijk *et al.*, 1998, Schroth *et al.*, 2003). Les études portant sur l'évolution de la teneur en matière organique du sol (MOS) dans les systèmes agroforestiers présentent des résultats très variables, à partir desquels aucune généralisation ne semble possible en l'état actuel des connaissances (van Noordwijk *et al.*, 1998 ; Huxley, 1999 ; Schroth *et al.*, 2001). Certaines études montrent une stabilisation des teneurs en carbone organique (Sanchez *et al.*, 1985), voir des augmentations de MOS au cours du temps (reportées notamment par Kowal et Tinker, 1959). D'autres études au contraire mettent en évidence une baisse de MOS au cours du temps. Ekanade (1987 cité dans Schroth *et al.*, 2001) a par exemple mis en évidence une baisse des teneurs en carbone organique des plantations de cacaoyers de 15 ans associés à des arbres à kola sur sables alluviaux récents au Nigéria. Ahenkorah *et al.* (1987 également cité dans Schroth *et al.*, 2001) reportent une diminution de teneur en carbone organique dans des plantations de cacaoyers de 16 années sur sables alluviaux récents au Ghana (alfisol).

Pour les systèmes à base de cocotiers ou de palmiers à huile, les seules références disponibles à propos de l'évolution de la teneur en matière organique du sol (MOS) au cours du temps concernent des grandes plantations monospécifiques, localisées dans des environnements agroécologiques très différents de ceux retrouvés au Vanuatu. En Côte d'Ivoire sur sables tertiaires sédimentaires ferrallitiques désaturés [Ultisol], Ollagnier *et al.* (1978) ont ainsi mis en évidence une diminution de la teneur en carbone du sol de surface (0-30 cm) après défrichement de la forêt pour l'installation de plantations de palmiers. Neuf années après la plantation des palmiers, la teneur en carbone se stabilise entre 55 et 65% de la teneur initiale en carbone des sols de forêt. Par ailleurs, Pomier et de Taffin (1982) montrent qu'un déficit azoté dans les sables quaternaires du littoral ivoirien, déjà très pauvres en azote avant la plantation des cocotiers, est le premier facteur limitant la productivité des cocotiers après une longue période de monoculture de cocotiers.

Sur sol de savane, en revanche, Janse *et al.* (1955) ont mis en évidence une augmentation notable de la teneur en matière organique du sol suite à l'implantation de palmiers à huile. Les résultats de ces études, qui concernent d'une part des sols très différents de ceux du Vanuatu et d'autre part des grandes plantations monospécifiques, sont difficilement utilisables pour prévoir l'évolution de la teneur en matière organique du sol (MOS) dans les systèmes de culture paysans sur l'île de Malo.

Les sols de plateaux de Santo et Malo sont des sols ferralitiques bruns rouges, faiblement désaturés. Ces sols sont profonds et présentent une texture argilo-limoneuse régulière sur tout le profil (avec une majorité d'argile de type 1:1), une capacité d'échange cationique importante (de 15 à 40 mé.100g⁻¹) et un horizon humifère épais (de 15 à 20 cm) et riche qui alimenterait le pool d'éléments minéraux dans la solution du sol. Du fait de la profondeur d'enracinement des cocotiers (à plus de 2 m de profondeur), le bilan hydrique de ces sols peut être considéré comme non limitant de la culture des cocotiers. Malgré le risque d'asphyxie temporaire des racines des plantes annuelles vers 20-30 cm en raison de la forte rétention de l'eau dans ces sols, ils sont considérés comme très fertiles, avec des potentialités agronomiques optimales dans la classification de Quantin (1982) et conviennent particulièrement aux cultures vivrières et à la culture du cocotier. Les conséquences de la culture de cocotiers sur l'évolution du potentiel de fertilité de ces sols, qui permettraient d'estimer la durabilité et les possibilités d'évolution des cocoteraies, restent toutefois mal connues.

L'objectif de cette partie est de caractériser l'évolution de la teneur en matière organique du sol (MOS) au cours du développement des cocotiers pour estimer la durabilité et le devenir des systèmes de culture paysans de Malo.

Comme dans les sections précédentes, une approche synchronique (chronoséquence) est mobilisée pour accéder aux dynamiques à long terme qui caractérisent le développement des cocotiers sur les parcelles paysannes.

III-3-4-2) Dispositif et Méthode retenus

a) *Dispositif et protocole de prélèvement des échantillons*

Un ensemble de 57 parcelles a été sélectionné dans la zone de plateau (Centre Est) pour représenter les différents stades des trajectoires agropastorale (44 parcelles ; SDC I) et agroforestière (13 parcelles ; SDC III) sur une période d'environ 50 ans à compter de la plantation des cocotiers. Vingt huit parcelles de jardin et 7 parcelles de forêt secondaire ont été ajoutées à ce dispositif afin de représenter les états initiaux de ces trajectoires (figure 46).

Une série de 4 parcelles composant une chronoséquence représentant le développement des cocotiers en condition de grande plantation complète ce dispositif. Cette série, qui représente uniquement les 20 premières années après la plantation des cocotiers, permet de comparer l'évolution des teneurs en matières organiques dans les plantations paysannes et en grande plantation (figure 46).

Les parcelles correspondant à la trajectoire en grande plantation sont situées sur la station de recherche VARTC, sur l'île de Santo. Les sols de plateaux de la station de recherche sont comparables à ceux du plateau de Malo. On vérifie d'ailleurs que leurs coordonnées

spectrales sont très similaires, se distinguant nettement des coordonnées spectrales de sol du littoral ou du versant (annexe 14).

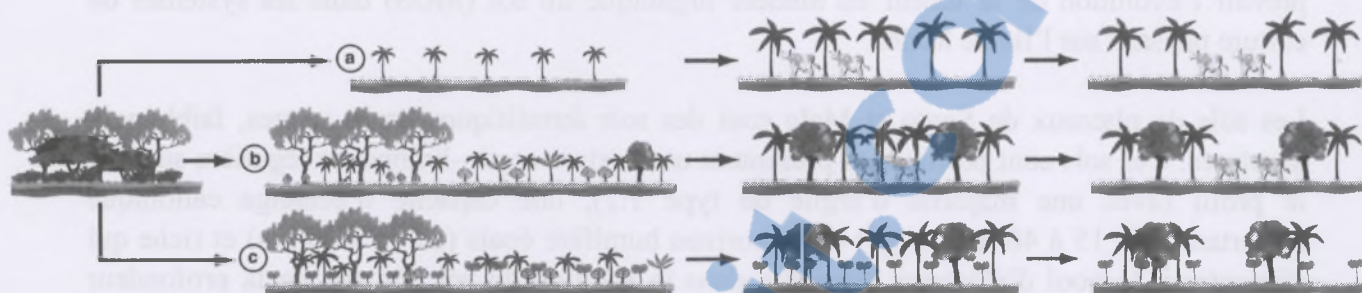


Figure 46 : Dispositif retenu pour la caractérisation de l'évolution de la teneur en matière organique du sol dans les systèmes de culture à base de cocotiers (a) trajectoire en grande plantation, (b) trajectoire paysanne agropastorale et (c) trajectoire paysanne agroforestière.

Sur une première série de parcelles, des prélèvements composites ont d'abord été réalisés à différentes distance des cocotiers (*i.e.* à 2 m et 4,5 m du stipe des cocotiers afin de représenter le rang de cocotier et l'interligne) ainsi qu'à différentes profondeurs (0-20 cm et 20-35 cm) afin de mettre en évidence l'éventuelle existence de gradients horizontaux et verticaux dans la répartition de la matière organique du sol (figure 47).

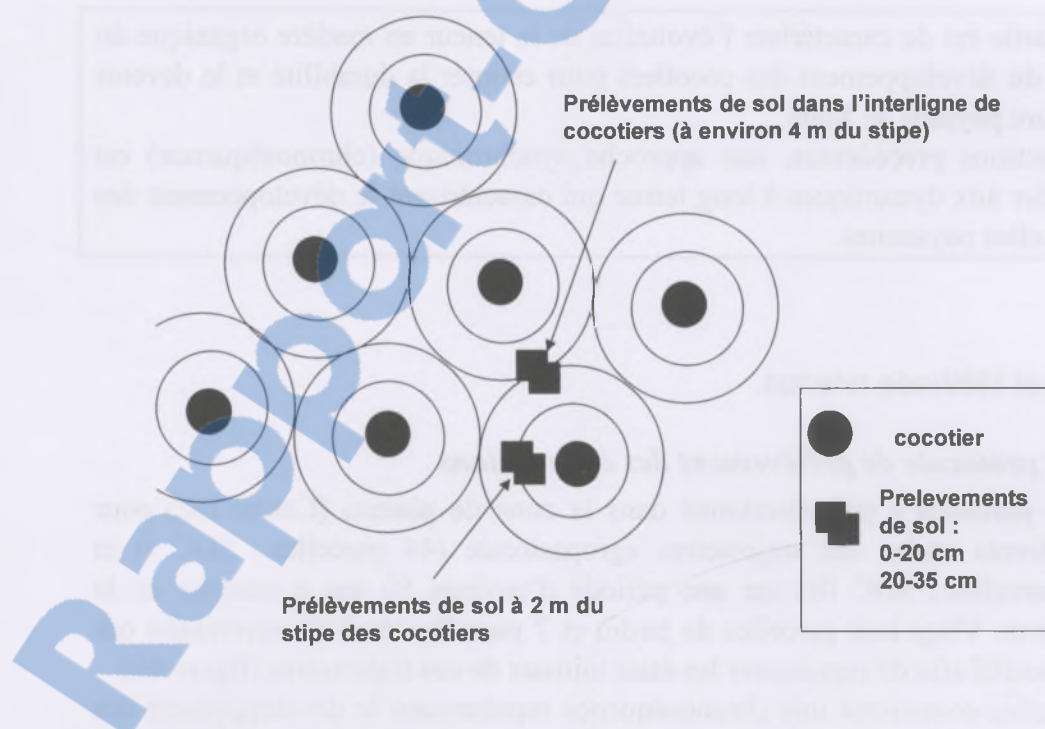


Figure 47 : Localisation des prélèvements pour mettre en évidence l'existence de gradients horizontaux et verticaux dans la répartition de la teneur en matière organique du sol des parcelles paysannes.

La répartition de la matière organique du sol (MOS) selon un gradient horizontal pourrait être le résultat d'une accumulation localisée des résidus de culture (bourse des noix de coco et palme en décomposition) sur ces parcelles. Cette hypothèse est d'ailleurs soutenue par l'existence d'un gradient « ligne-andain » en grande plantation (Roupsard *et al.*, 2004). La

répartition de la MOS selon un gradient vertical est un processus classique résultant de la minéralisation progressive des résidus de culture en surface et la dégradation plus en profondeur des matières organiques ainsi formées.

Sur les parcelles paysannes de Malo, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les prélèvements réalisés dans le rang et ceux réalisés dans l'interligne, il n'existerait pas de gradient horizontal pour la répartition de la matière organique du sol (figure 48). A la différence des grandes plantations où les résidus de culture (palmes, bourre de noix de coco) sont andainés de façon systématique et permanente un rang sur deux, dans les plantations paysannes, les tas de bourres sont répartis de façon « aléatoire »³³. L'emplacement des résidus de culture sur les parcelles paysannes est par ailleurs variable d'une année sur l'autre, ce qui expliquerait que l'on ne retrouve pas de gradient horizontal pour la répartition de la MOS sur les parcelles paysannes.

Une différence significative existe en revanche entre les teneurs en matière organique du sol à 0-20 cm et à 20-35 cm de profondeur (figure 49). Ce gradient vertical montre que le turn-over de la MOS est un élément important pour l'alimentation du pool d'éléments minéraux du sol.

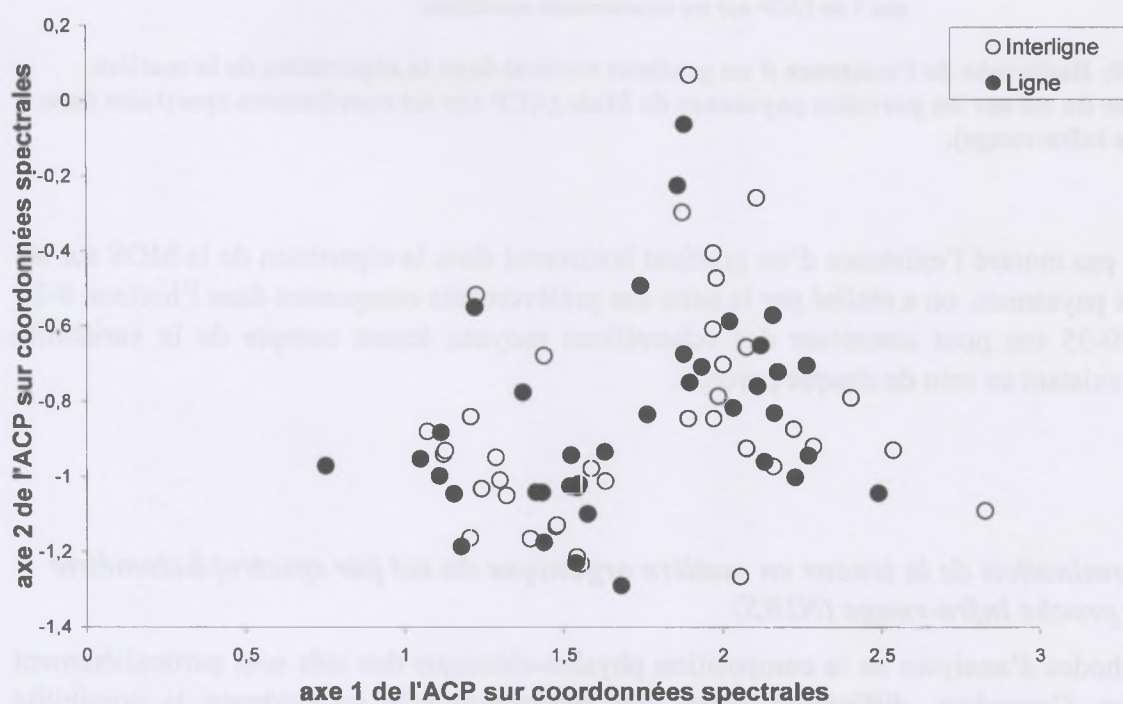


Figure 48 : Recherche de l'existence d'un gradient horizontal dans la répartition de la matière organique du sol sur les parcelles paysannes de Malo (ACP sur les coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge).

³³ ou selon la facilité et la convivialité pour le décoquage des noix, on choisit plutôt un endroit prêt d'un arbre apportant de l'ombre, on se place à proximité des cocotiers les plus productifs.

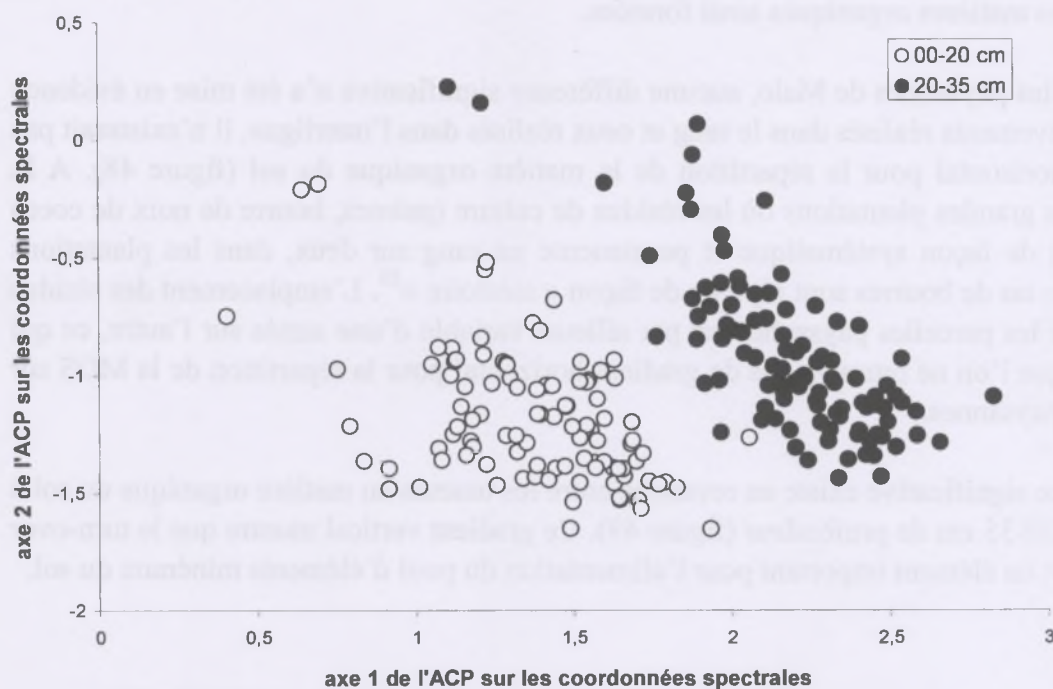


Figure 49: Recherche de l'existence d'un gradient vertical dans la répartition de la matière organique du sol sur les parcelles paysannes de Malo (ACP sur les coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge).

N'ayant pas montré l'existence d'un gradient horizontal dans la répartition de la MOS sur les parcelles paysannes, on a réalisé par la suite des prélèvements composites dans l'horizon 0-20 cm et 20-35 cm pour constituer des échantillons moyens tenant compte de la variabilité spatiale existant au sein de chaque parcelle.

b) Détermination de la teneur en matière organique du sol par spectrophotométrie dans le proche infra-rouge (NIRS)

Les méthodes d'analyses de la composition physico-chimique des sols sont particulièrement onéreuses. Cependant, différentes études ont récemment mis en évidence la possibilité d'utiliser la spectrophotométrie dans le proche infra-rouge (NIRS) pour quantifier des teneurs en matières organiques dans des échantillons de sol (par exemple les études de Ben-Dor et Banin, 1995 ; Dalal et Henry, 1986, de Henderson *et al.* citées in Ludwig *et al.*, 2002, Velasquez *et al.* 2005). Cette méthode combine de nombreux avantages : économique, rapide, très fiable. Elle permet l'analyse d'un grand nombre d'échantillons comme le nécessite les études visant à analyser les propriétés de sol et leurs évolutions spatiales et/ou temporelles (Ludwig *et al.*, 2002 ; Shepherd et Walsh, 2002) tel que nous voulions le faire, ce qui nous a conduit à adopter cette méthode pour quantifier la teneur en matière organique du sol des parcelles paysannes



Les échantillons composites prélevés sur les parcelles paysannes, comme explicité ci-dessus, sont séchés à l'air libre puis à l'étuve à 65°C pendant 48h. Ils sont ensuite finement broyés pour obtenir une poudre de texture adéquate, en référence à un échantillon étalon. Ces échantillons sont ensuite scannés au spectrophotomètre à proche infra-rouge (NIRSystems 6500). La mesure de la réflectance s'effectue dans la gamme de longueurs d'ondes allant de 400 nm à 2500 nm afin de produire un spectre moyen composé de 1050 données réparties tous les 2 nm sur cet intervalle. La bande passante utilisée est de 10nm avec une fréquence de 0,5 nm.

Parmi l'ensemble des échantillons, une sous population de 60 échantillons a été sélectionnée pour l'analyse chimique à partir du calcul des distances de Mahalanobis entre tous les couples de spectres (Shenk et Westerhaus, 1991). Les teneurs en Carbone organique et Azote total ont été déterminées pour chacun des échantillons par combustion sèche sur analyseur élémentaire et mesurées par chromatographie gazeuse (d'après les normes NF ISO 10694, 1999 pour le Carbone organique et NF ISO 13878, 1998 pour l'azote total). Les équations de calibrage entre les données spectrales et chimiques des teneurs en C_{org} et en Azote total ont été déterminées par régression non linéaire (régression PLS pour Partial Least Square) sur les dérivées secondes des spectres de chacune des zones de prospection (Martens et Naes, 1989). Ces équations ont ensuite permis de déterminer les teneurs en C_{org} , et Azote Total pour l'ensemble des échantillons prélevés dans la zone de plateau (figure 50). Par convention, les teneurs en carbone organique (C_{org}) sont converties en teneur de la matière organique en les multipliant par 1,72.

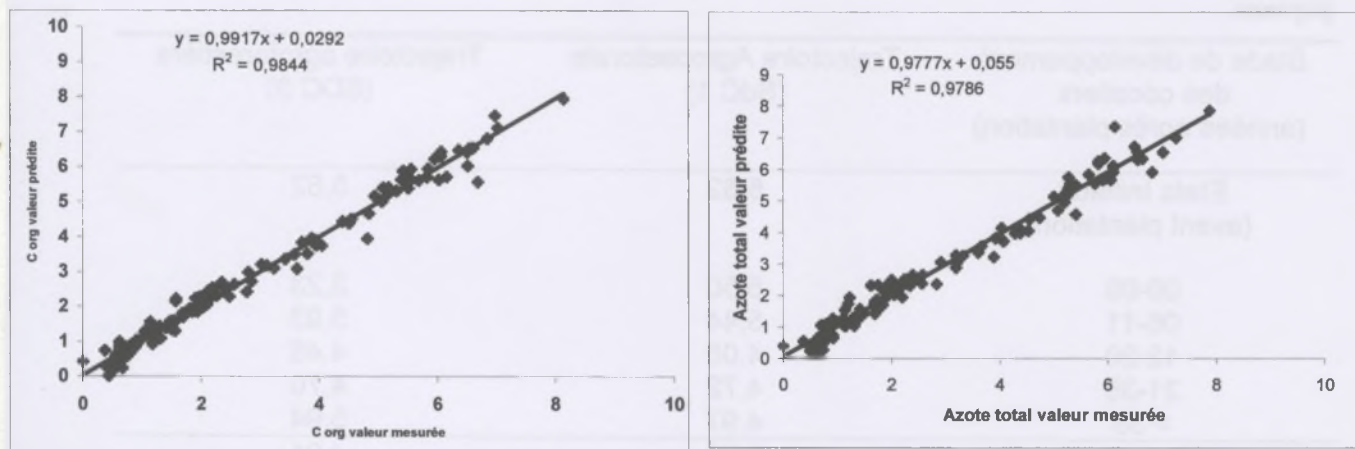


Figure 50 : Exemple de prédiction des teneurs de Carbone et Azote dans les échantillons de sol de plateaux de l'île de Malo

III-3-4-3) Résultats : évolution de la teneur en matière organique du sol au cours du développement des cocotiers

Tous les échantillons révèlent de fortes teneurs en matières organiques : avec une moyenne de 12% de matières organiques dans les 20 premiers centimètres de sol (c.v : 20,5%) et de 5% entre 20 et 35 cm (c.v : 25%) (tableau 17 et 18) Le rapport Carbone /Azote est de 10, quelque soit la profondeur de prélèvement, témoignant d'une bonne minéralisation de la matière organique (Baize, 2000).

Tableau 17: Teneurs en matière organique du sol (en % dans les 0-20 premiers cm de sol) pour les différents stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture paysans

stade de développement des cocotiers (années après la plantation)	Agropastorale (SdC 1)	Agroforestière (SdC 3)	Grande Plantation (VARTC)
Etats Initiaux (avant plantation)	13,3	13,3	9,8
00-05	13,3	10,2	7,0
06 - 11	11,0	12,9	8,2
12 - 20	9,7	9,6	6,8
21 - 35	10,3	11,3	
> 35	12,3	12,1	
Moyenne	11,6	11,6	7,9

Tableau 18 : Teneurs en matière organique du sol (en % dans les 20-35 premiers cm de sol) pour les différents stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture paysans.

Stade de développement des cocotiers (années après plantation)	Trajectoire Agropastorale (SdC 1)	Trajectoire agroforestière (SDC 3)
Etats Initiaux (avant plantation)	5,62	5,62
00-05	5,50	3,23
06-11	5,44	5,93
12-20	4,08	4,45
21-35	4,72	4,70
> 35	4,97	5,94
Moyenne	5,02	4,91

Dans les conditions paysannes, les teneurs en matières organiques sont légèrement mais significativement plus élevées pour les parcelles de jardins et de forêts (13% de matières organiques dans les 20 premiers cm, c.v= 10%) que sur les parcelles de cocotiers (11,6% de matières organiques dans les 20 premiers cm, c.v= 10%). Le même type d'observation semble pouvoir être fait pour les grandes plantations, mais le faible nombre de parcelles ne permet pas de conclure.

Ni le système de culture ni l'âge des cocotiers sur les parcelles n'ont d'effet significatif sur les teneurs en matières organiques du sol (figure 51).

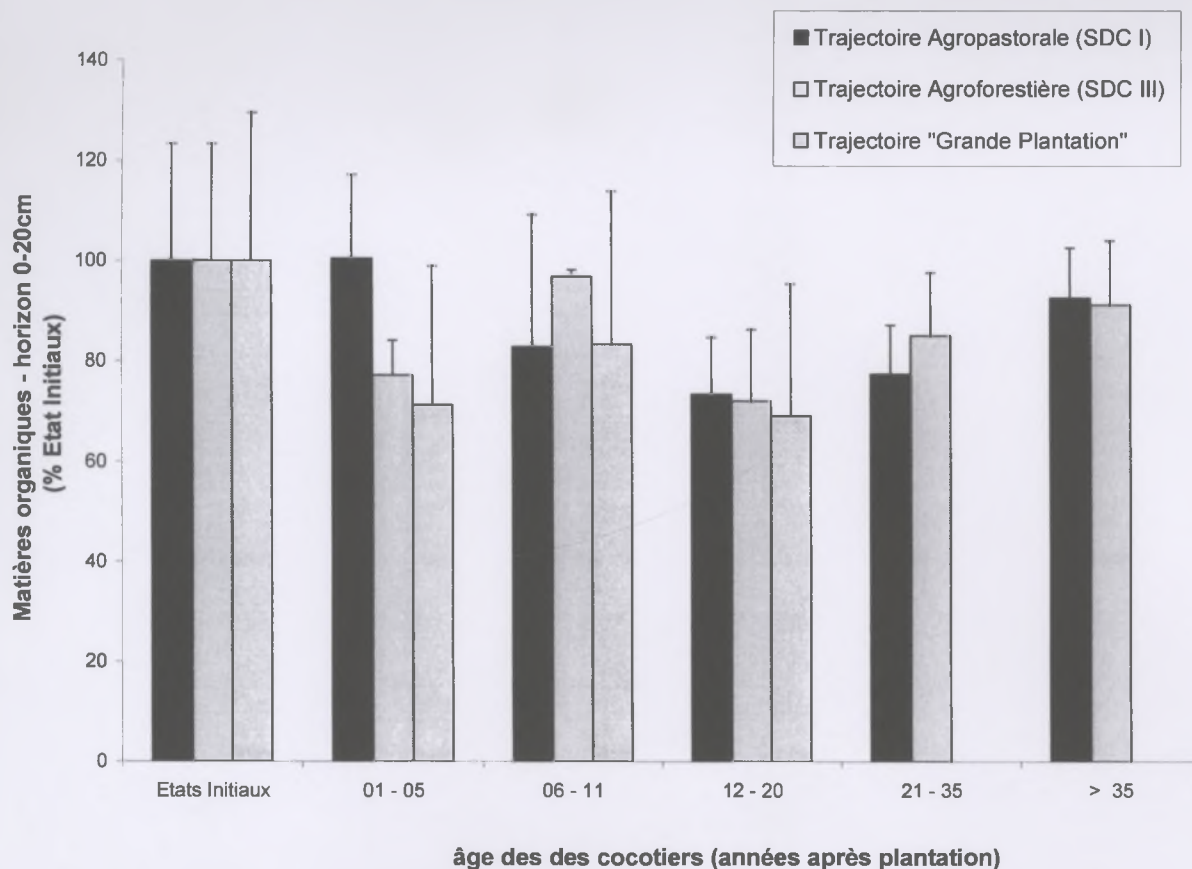


Figure 51: Effet du système de culture et de l'âge des cocotiers sur la teneur en matière organique du sol (en % de la MOS avant plantation des cocotiers dans les 0-20 premiers cm de sol) des parcelles paysannes de Malo.

L'absence de différence entre la teneur en matière organique du sol (MOS) entre les différents types de systèmes de culture ou les stades de développement des cocotiers pourrait être expliquée par l'absence de travail du sol et la restitution continue de la litière dans ces systèmes. Pour la plantation des cocotiers, dans une jachère arborée qui est ensuite progressivement défrichée, l'exploitant creuse manuellement (à l'aide d'un pied ou d'une barre à mine) un trou de la profondeur d'un avant bras et un peu plus large que la noix de coco germée qui y est déposé : il n'y a pas d'autres modifications du sol. La restitution de litière est également importante en grande plantation, où les résidus de culture sont andainés un rang sur deux.

Hormis une légère diminution des teneurs initiales en matières organiques suite à la mise en culture des parcelles, les systèmes de cultures paysans à base de cocotiers mis en œuvre sur le plateau de l'île de Malo permettent de préserver une forte teneur en matière organique du sol, et ce plus de 40 années après la plantation des cocotiers. Ceci pourrait permettre de conserver un potentiel de fertilité, indicateur de la durabilité agroécologique des systèmes de culture à base de cocotiers sur les plateaux de Malo.

La fertilité du milieu dépend de la quantité de matières organiques mais également de sa qualité/composition (Pieri, 1989 ; Craswell et Leffroy, 2001). Pour valider l'hypothèse de la conservation d'un potentiel de fertilité, il conviendrait de savoir si la composition de la matière organique du sol évolue selon les systèmes de culture et pour un même système de culture si elle évolue au cours du développement des cocotiers.

Chapitre IV : Discussion

Dans les chapitres précédents, nous avons mobilisé différents outils pour caractériser et évaluer l'évolution des performances et des états du milieu dans les systèmes de culture paysans à base de cocotiers.

Dans ce dernier chapitre, nous reviendrons, dans une première section, sur ces différents outils pour discuter leurs limites et les perspectives qu'ils offrent dans le cadre d'une démarche d'évaluation des systèmes de culture plurispécifiques. Dans une deuxième section, les différents résultats de ce travail de thèse seront rassemblés pour estimer si les systèmes de culture à base de cocotiers actuellement mis en œuvre sur l'île de Malo peuvent être considérés comme agroécologiquement durables. Dans une troisième section, on formulera des propositions pour orienter le développement de ces systèmes de culture. On abordera enfin, dans une dernière section, les limites de la démarche proposée.

IV-1) Les limites et perspectives des outils de caractérisation et d'évaluation des systèmes de culture plurispécifiques

L'objectif de ce travail de thèse était de mettre au point une démarche de caractérisation et d'évaluation des systèmes de culture à base de cultures pérennes afin de préparer ou orienter leur devenir. Cette démarche a été mise au point et appliquée pour les systèmes de culture paysans à base de cocotiers de l'île de Malo (Vanuatu), pour lesquels on ne disposait jusque ici que de peu d'informations permettant d'orienter le développement de ces systèmes.

Pour caractériser et évaluer les systèmes de culture paysans à base de cocotiers, on rencontre des difficultés méthodologiques spécifiques liées d'une part, aux dynamiques à long terme caractérisant le cycle de culture du cocotier et d'autre part, à la diversité d'associations mises en œuvre avec le cocotier sur les parcelles paysannes. Pour contourner ces difficultés méthodologiques, on propose une démarche de caractérisation et d'évaluation de ces systèmes qui repose sur une analyse de la diversité de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes de la zone d'étude. En s'appuyant sur les histoires culturelles de ces parcelles paysannes, on replace la diversité de situations dans une perspective temporelle, qui permet d'identifier les principales trajectoires (succession de structure de la végétation au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes) et de les évaluer à partir de chronoséquences construites pour représenter les principales trajectoires identifiées. Pour caractériser et évaluer ces systèmes, différents outils provenant de disciplines variées ont été mobilisés ou adaptés. D'autres, comme la matrice des situations culturelles ou la méthode d'évaluation de la production des zones de jardins et des parcelles paysannes de cocotiers, ont été mis au point dans le cadre de cette étude. Dans cette section, on revient sur ces différents outils pour discuter les problèmes techniques rencontrés et les perspectives d'évolution de ces outils.

(1) Caractériser la structure de la végétation sur les parcelles paysannes

Pour décrire la structure de la végétation sur les parcelles paysannes, nous avons mobilisé des méthodes de mesures sur le terrain qui malgré leur intérêt présentent de sérieuses limites. Après les avoir rappelées nous discutons de méthodes alternatives comme l'analyse d'image satellite à très haute résolution pour caractériser la structure de la végétation plus aisément et à une plus large échelle que celle permise par les mesures de terrain.

Les mesures de terrain pour décrire la structure de la végétation sur les parcelles paysannes

La méthode de description de la structure de la végétation sur le terrain est basée sur la mesure des différents éléments de structure du peuplement sur l'ensemble de la surface de la parcelle ou bien sur des placettes représentant la variabilité de l'élément de structure considérée au sein de la parcelle. Cette méthode se veut plus rapide que la méthode du profil architectural proposée par Michon *et al.* (1983) où une journée de travail est nécessaire à la réalisation du profil montrant, sur un transect d'environ 30 m, la répartition verticale et horizontale de la végétation dans des systèmes agroforestiers présentant une structure complexe. La description de la végétation d'une parcelle en mesurant la densité des différentes espèces, leur hauteur, demande cependant toujours beaucoup de temps (en moyenne une journée de 6 à 8 h par parcelle) et les différents éléments de structure sont difficiles à mesurer sur le terrain.

La surface des parcelles est plus ou moins aisément mesurable, selon la précision du signal obtenu à partir des relevés GPS du contour de la parcelle. Lorsque le couvert est dense, la précision du signal GPS ne permet, en général, pas un relevé de ces contours. Dans ce cas, la surface de la parcelle doit être mesurée à l'aide d'un mètre ruban mais cette méthode demande un ensemble de mesures plus fastidieuses à réaliser sur le terrain (annexe 3). La précision des mesures de surface au GPS augmentant avec la taille des parcelles, pour des parcelles de petite taille³⁴ la surface est mesurée avec un mètre ruban, tandis que pour des parcelles de taille supérieure, la méthode par relevés GPS est appliquée ; les résultats obtenus avec les deux méthodes de mesures étant relativement comparables.

La reconnaissance des différentes espèces (ligneuses et herbacées) est tributaire des connaissances en botanique et de la documentation de l'observateur, mais aussi des connaissances des populations locales, et en particulier des connaissances de l'accompagnateur sur le terrain.

La densité des cocotiers, dont la répartition est souvent hétérogène sur les parcelles paysannes, est également difficile à estimer, à moins de réaliser un fastidieux comptage sur l'ensemble de la parcelle.

La répartition horizontale et verticale du peuplement sur la parcelle nécessite une description fine de la position au sol (horizontale) et dans un profil vertical des différents individus composant le peuplement de la parcelle.

Dans cette étude, plutôt que de passer par une description exhaustive de la position en hauteur et au sol pour chaque individu, ou par la description des individus situés sur un transect; nous avons regroupé les individus selon leur nature et caractérisé pour chaque catégorie d'espèces le type de répartition horizontale et verticale. La représentation de la répartition

³⁴ à partir de surface de 5000m², le coefficient de corrélation entre les résultats obtenus par les deux types de méthode de mesure est de 0,90.

horizontale et verticale du peuplement ainsi obtenue est très simplifiée. Cette simplification permet de définir des grands types de répartition horizontale (plus ou moins complexes selon le nombre de catégorie d'espèces et leur mode respectif de répartition) et verticale (mono ou multi-strate, les cocotiers pouvant dans ce cas être dominés, dominants ou bien à la fois dominés et dominants). Ces grands types de répartition horizontale et verticale du peuplement sont suffisamment informatifs (et discriminants) pour constituer des critères de classification de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes. En revanche, l'encombrement des différents individus n'étant pas pris en compte, cette caractérisation de la répartition horizontale et verticale du peuplement apparaît comme trop simplifiée pour estimer les relations de compétition inter et intra spécifique pour l'espace au sein des différentes structures de la végétation identifiées.

Une démarche mieux adaptée serait de réaliser dans un premier temps, une description simplifiée de la répartition horizontale et verticale du peuplement afin de distinguer les différents types de structure de la végétation sur les parcelles de la zone d'étude, puis dans un second temps, de caractériser plus finement la répartition horizontale et verticale de la végétation (via la réalisation d'un profil architectural) pour estimer les compétitions pour l'espace inter et intraspécifique sur quelques parcelles représentatives de chaque type de structure de la végétation.

La description des différents éléments de structure de la végétation à partir de mesures de terrain est une opération longue et laborieuse. Elle est toutefois indispensable pour construire une typologie des parcelles paysannes représentant la diversité de structure de la végétation au sein de l'échantillon de parcelles paysannes sélectionnées. Cet échantillon de parcelles, qui représente la diversité de situations sur les parcelles paysannes mais pas les proportions de ces différentes situations dans la zone d'étude, ne permet pas d'appréhender la représentativité quantitative des différentes situations. Etablir la représentativité quantitative d'une zone consiste à affecter chaque parcelle de cette zone (un village, l'ensemble de l'île) à l'une ou l'autre des situations inventoriées qualitativement. Ceci peut impliquer de très nombreuses descriptions de parcelles. Cette description à partir de mesures de terrain étant particulièrement longue, elle apparaît difficile à mettre en œuvre pour un très grand nombre de parcelles. Une perspective intéressante pour contourner cette difficulté serait d'utiliser l'analyse d'image satellite à très haute résolution.

L'analyse d'image satellite à très haute résolution pour caractériser la structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers

Suite à la mesure des différents éléments de structure de la végétation sur le terrain, on a testé l'utilisation d'image satellite à très haute résolution pour caractériser la structure du peuplement sur les parcelles paysannes de cocotiers de Malo. L'imagerie satellitaire à très haute résolution semble en effet pouvoir constituer un outil de caractérisation et d'évaluation de ces systèmes agroforestiers en raison notamment de la possibilité de distinguer et de reconnaître l'arbre lui-même sur l'image ou d'accéder à l'échelle intra-parcellaire pour caractériser l'hétérogénéité des peuplements. En outre, l'imagerie offre une dimension spatiale alliant une exhaustivité de l'observation et une évaluation des surfaces difficiles à mettre en œuvre sur le terrain.

Au cours du stage de C. Lesponne (2003), nous avons testé la possibilité d'utiliser l'analyse d'images spatiales à très haute résolution pour caractériser la structure du peuplement sur les

parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo. Les images QuickBird panchromatiques ($0,65\text{m.pixel}^{-1}$) et multispectrales ($2,5\text{ m.pixel}^{-1}$) de la zone Nord Ouest de Malo ont été associées pour créer une image multispectrale avec une résolution de $0,65\text{m. pixel}^{-1}$ dans 3 bandes (Vert, Rouge et Proche Infra-Rouge).

En se référant aux mesures de terrain, une première étape de photo-interprétation a montré que :

- les cocotiers, de par leur forme et la taille de leur couronne, sont clairement identifiables sur des images à très haute résolution,
- les parcelles qui correspondent à des entités sur lesquelles la structure de la végétation est homogène peuvent être isolées et délimitées,
- le positionnement et le comptage des cocotiers sont possibles et permettent d'estimer la densité des cocotiers sur la parcelle,
- plusieurs types de situations culturelles peuvent être reconnus (par exemple : parcelles avec un couvert herbacé plus ou moins pâturé, parcelles avec des gros arbres) mais on ne peut pas distinguer les cultures associées aux cocotiers.

La photo interprétation apparaît finalement comme un outil pertinent pour caractériser des situations où les cocotiers constituent la strate dominante du peuplement et pour lesquelles on dispose de mesures de terrain). Mais, la photo-interprétation reste toutefois longue et laborieuse à mettre en œuvre, se révélant actuellement encore peu adaptée pour des études sur de grandes zones.

Dans une deuxième étape de ce travail de stage, nous avons testé la possibilité d'automatiser l'interprétation de l'image pour en déterminer une classification des parcelles de cocotiers, basée sur la structure de la végétation sur ces parcelles.

A partir des mesures de terrain, nous avons d'abord repéré et choisi comme références différents types de structure de la végétation sur les parcelles. La méthode de classification du module CLAPAS développé par Robbez Masson (1994) (analyse de contexte ou analyse de paysage) est basée sur l'analyse de la texture de l'image. La texture est liée à l'organisation spatiale des différents types « référence » de structure de la végétation. Cette méthode a été testée pour réaliser automatiquement une typologie basée sur la structure de la végétation sur les parcelles paysannes.

Les résultats de cette analyse montrent une bonne reconnaissance des classes de densité de cocotiers sur les parcelles paysannes, mais il existe toutefois une certaine confusion entre les arbres associés et les ombres. La localisation des gros arbres sur les parcelles est peu précise, du fait de l'analyse du contexte qui génère un aspect érodé de l'image.

Le traitement d'image avec CLAPAS permet ainsi une première analyse de la structure intra parcellaire du peuplement, en particulier en distinguant différentes classes de densité de cocotiers. Au terme de ces premiers tests, l'analyse de la texture de l'image apparaît cependant comme peu adaptée pour réaliser automatiquement une typologie des parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo (Lelong *et al.*, 2004).

L'analyse de l'image satellite à très haute résolution, en offrant une vision des parcelles différente et complémentaire de celle du terrain, est un outil intéressant pour compléter ou affiner la typologie basée sur la structure de la végétation sur les parcelles. L'analyse de l'image satellite peut ainsi permettre d'élaborer des indices décrivant un aspect de la structure du peuplement et de le quantifier dans différentes situations. L'analyse radiométrique de l'image satellite peut par exemple permettre d'élaborer des indices décrivant un aspect de la structure du peuplement et de le quantifier dans différentes situations. C'est ainsi que dans une troisième

étape³⁵, un indice permettant de quantifier «la fermeture de la canopée» noté F_c a ainsi été défini. L'indice de « fermeture de la canopée : F_c » est un dérivé de l'indice de « couverture du sol par la végétation : F_s » défini par Gutman et Ignatov (1998) à partir de l'indice de végétation classiquement utilisé en télédétection et appelé NDVI³⁶ (voir équation 16).

$$\text{Équation 16 : } F_s = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})$$

avec $\text{NDVI} = (\text{Near Infra Red} - \text{Red}) / (\text{Near Infra Red} + \text{Red})$

L'indice de « fermeture de la canopée : F_c » est obtenu en fixant pour le NDVI maximum la valeur maximale pouvant être atteinte par le NDVI en zones de forêt et, pour le NDVI minimum, le seuil à partir duquel la couverture végétale en présence est herbacée et non plus arborée (équation 17) (Lelong *et al.*, 2004).

$$\text{Équation 17: } F_c = \text{NDVI} - 0,4/0,6$$

avec $\text{NDVI}_{\text{forêt}} = 1$ et $\text{NDVI}_{\text{couverture herbacée du sol}} = 0,4$

La valeur moyenne de l'indice de « fermeture de la canopée » et sa variance sur la surface d'une parcelle apparaissent alors comme un moyen pertinent pour quantifier la répartition horizontale (au sol) du peuplement d'une parcelle, élément de structuration de la végétation qui est par ailleurs difficile à estimer à partir de mesures sur le terrain (Lelong *et al.*, 2004).

(2) Évaluer les performances des parcelles paysannes à l'aide d'indicateurs de production des différentes espèces

La production des systèmes de culture agroforestiers, que nous avons assimilée dans le cadre de ce travail aux sorties de matières des parcelles, se caractérise par sa diversité. Cette diversité de productions (fruits, tubercules, feuilles, bois, etc...) est due à la fois à la composition plurispécifique du peuplement des parcelles agroforestières, mais aussi au caractère « multi-productif » de la majorité des espèces cultivées sur ces parcelles. De nombreuses difficultés sont rencontrées pour évaluer la production de ces parcelles, et si des méthodes spécifiques existent pour évaluer isolément la plupart des produits (en particulier ceux présentant un intérêt économique), aucune méthode n'a été proposée pour tenter d'évaluer de manière globale la production de ce type de parcelle.

Alors que seule la production de coprah était jusqu'ici considérée, l'originalité de la démarche proposée est d'avoir abordé la production d'une parcelle comme l'ensemble des productions des différentes espèces composant le peuplement. Ces différentes espèces ont été regroupées en catégorie selon leurs natures. Pour chacune des catégories d'espèces, on a cherché à identifier la (ou les) production(s) (sorties de matières) ainsi que leurs utilisations potentielles, puis à quantifier cette production.

Compte-tenu de l'ampleur du travail à réaliser pour quantifier ces productions et du temps imparti pour la thèse, nous nous sommes focalisés sur l'évaluation de la production des

³⁵ Suite au travail de C. Lespoune, dans le cadre de la collaboration avec C. Lelong pour l'utilisation de l'imagerie satellite à très haute résolution pour la caractérisation et l'évaluation des parcelles paysannes de cocotiers.

³⁶ NDVI = Normalized Difference Vegetation Index

cocotiers et celles des zones de jardins vivriers. Les méthodes retenues pour évaluer la production de ces deux composantes ainsi qu'une proposition de démarche pour évaluer la composante élevage sur les parcelles paysannes sont discutées ci-dessous.

1) Evaluer la production des cocotiers

Deux indicateurs ont été retenus pour évaluer la production des cocotiers sur les parcelles paysannes :

- (1) la production potentielle des cocotiers (en équivalent coprah avant la chute des noix) estimée à partir de l'observation de la charge des cocotiers (nombre de noix sur des régimes à différents stades de maturité),
- (2) la quantité de coprah récoltée pour la commercialisation estimée à partir d'enquêtes auprès des exploitants

L'évaluation de la production en coprah par comptage de la charge des cocotiers est limitée par (i) la difficulté à repérer les régimes correspondant aux palmes de rang 14, 19 et 24 (ou 23) et la difficulté de comptage du nombre de noix par régimes en particulier lorsque les cocotiers atteignent une certaine hauteur, et (ii) l'absence de prise en compte du taux de chute des noix avant maturité. D'autres difficultés sont rencontrées lorsque l'on cherche à évaluer la production des cocotiers par enquêtes auprès des exploitants. Il est, en particulier, difficile d'obtenir une donnée précise sur la quantité de coprah récoltée sur une parcelle donnée, les exploitants raisonnant la récolte de coprah à un niveau supra parcellaire – l'objectif étant de ramasser une quantité de coprah suffisante pour remplir un four dans lequel l'albumen des noix est séché. Cette différence d'échelle de référence pour estimer la quantité produite diminue fortement la fiabilité des données de production obtenues pour une parcelle donnée. Enfin, il existe une certaine hésitation ou réticence des exploitants à divulguer des données économiques les concernant, ce qui limite encore la fiabilité des données de production ainsi obtenues.

Malgré ces difficultés des résultats cohérents sont obtenus lorsque l'on met en relation les estimations de production réalisées par ces deux méthodes (figure 52).

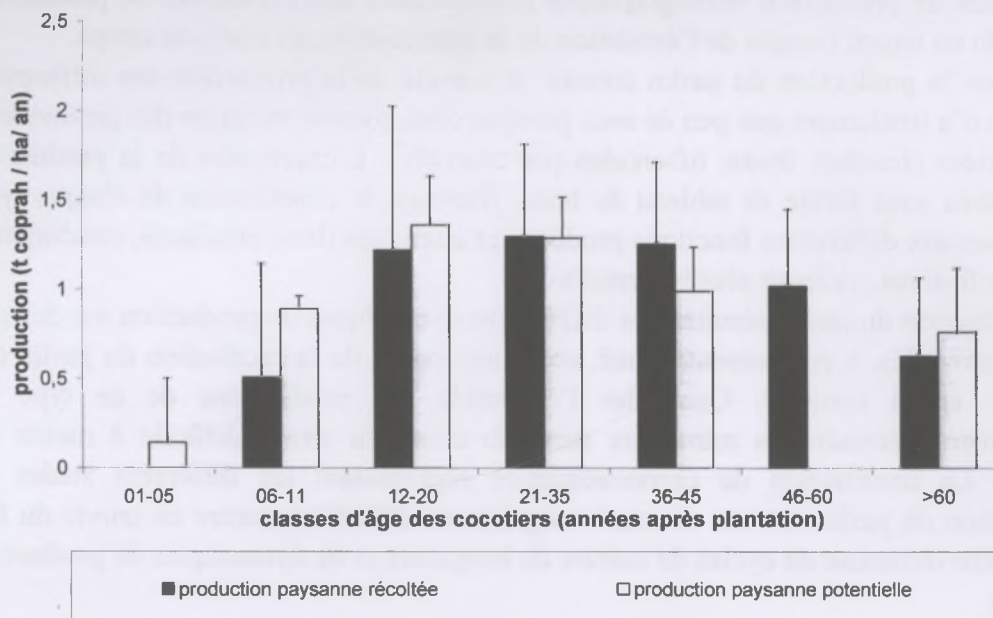


Figure 52: Estimation de la production en coprah au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes

Ces deux méthodes constituent des moyens d'estimer la production en coprah des parcelles paysannes. La précision de l'estimation de la charge des cocotiers pourrait être améliorée en déterminant les coefficients de chute des noix des régimes de rang supérieur au rang 14. Pour préciser les quantités de coprah récoltées par les exploitants, des enquêtes doivent au préalable être réalisées pour préciser les logiques de récolte (échelle de raisonnement de la récolte, déterminants et contraintes) et trouver ainsi les éléments qui permettent aux exploitants d'évaluer et de porter un jugement sur la production en coprah de leurs parcelles (*i.e.* quantité produite et le jugement qu'ils en ont).

2) Evaluer la production de jardins vivriers

Une méthode pour estimer la production de jardins vivriers de type mélanésien a été mise au point et testée sur les parcelles de jardins complantées ou pas de cocotiers de Malo dans le cadre du stage de C. Morelli (2003) co-encadré avec V. Lebot dans le cadre de ce travail de thèse. Quelques limites à la méthode sont mentionnées ci dessous :

- Le rendement des jardins est estimé à partir d'une estimation de production (masse produite par chaque espèce du jardin) qui est le plus souvent issue de la bibliographie plutôt que de mesures sur le terrain. Il existe donc une incertitude sur les productions ainsi évaluées même si les références bibliographiques retenues sont des résultats de mesures réalisées dans des jardins mélanésiens.
- La production du jardin est assimilée à la production issue de sa composition à un moment donné (celui de l'observation sur le terrain). L'évaluation de la production ainsi obtenue est donc une évaluation par défaut car on n'a pas de prise en compte de la succession des cultures dans le jardin. Des enquêtes sur l'évolution de la composition des jardins au cours du temps de culture de la parcelle et l'utilisation des

références de production bibliographique permettraient alors d'estimer la production du jardin en tenant compte de l'évolution de sa composition au cours du temps.

- Exprimer la production du jardin comme la somme de la production des différentes espèces n'a finalement que peu de sens puisque cette somme recouvre des productions très variées (feuilles, fruits, tubercules par exemple). L'expression de la production des jardins sous forme de tableau de bord, illustrant la contribution de chaque type d'espèces aux différentes fonctions productives attendues (base amylacée, condiments, denrées festives...) serait plus informative.
- La production du jardin résultant de différentes dynamiques de production sur des pas de temps variés, à un moment donné, seule une partie de la production du jardin (au mieux). est à maturité. Quantifier l'ensemble des productions de ce type de peuplement nécessite un minutieux suivi au cours du temps difficile à mettre en œuvre. La constitution de chronoséquence représentant les différents stades de production du jardin est une alternative également difficile à mettre en œuvre du fait de l'enchevêtrement de cycles de culture de longueurs et de dynamiques de production variées.

3) Evaluer la production de bovins via l'offre fourragère sur la parcelle

Faute de temps sur le terrain, la production des bovins, composante importante de la production globale des parcelles paysannes de cocotiers n'a pas été estimée.

On propose ici une démarche pour évaluer la production de bovins à partir de l'offre fourragère du couvert herbacé de la parcelle. Cette démarche permettrait d'intégrer l'évaluation de la composante élevage (via l'offre fourragère de la parcelle) à la démarche globale d'évaluation des performances des parcelles paysannes à partir d'indicateurs de production des différentes catégories d'espèces.

Pour estimer la production de bovins sur une parcelle paysanne, on propose de confronter une production de bovins observée (exprimée en UBT et déterminée à partir d'enquêtes auprès de l'exploitant³⁷) à une production potentielle de bovins sur cette parcelle. La production potentielle de bovins sur la parcelle est déterminée à partir de l'offre fourragère de la parcelle.

L'offre fourragère de la parcelle est estimée à partir de la composition du couvert herbacé et des références bibliographiques sur la valeur fourragère des différentes espèces locales. La composition du couvert herbacé est déterminée à partir de relevés de terrain au cours desquels on identifie les différentes espèces et en quantifiant leurs abondances respectives en utilisant par exemple les indices d'abondance dominance de Braun-Blanquet (1932). A partir de l'offre fourragère ainsi estimée et des besoins des troupeaux en zones tropicales humides, un nombre d'UBT potentiel pour la parcelle considérée pourrait être déterminé.

La confrontation de l'UBT correspondant à la situation observée sur la parcelle avec le d'UBT potentiel calculé à partir de l'offre fourragère de la parcelle permettrait alors de porter un jugement sur la production de bovins de la parcelle du type : le potentiel de production (compte-tenu de l'offre fourragère de la parcelle) est-il atteint, dépassé... ?

³⁷ Le nombre de têtes sur la parcelle doit être renseigné par enquête auprès de l'exploitant, car hormis pour les bovins conduits à la corde en continu sur la même parcelle, l'observation du nombre de têtes sur la parcelle à un temps t ne permet pas de le déterminer.

Si les données bibliographiques concernant la valeur fourragère des espèces locales du couvert herbacé sont disponibles, cette démarche permettrait alors d'intégrer la composante «élevage» dans l'évaluation des performances de la parcelle puis des systèmes de culture paysans.

Une liste des principales espèces composant le couvert herbacé des parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo (et leurs caractéristiques issues de la bibliographie) est proposée en annexe 15.

(3) Evaluer les fonctions sociales et écologiques des parcelles paysannes

Dans cette étude la production de la parcelle a été assimilée aux sorties de matières mais de nombreux services sociaux et écologiques sont également assurés par ces parcelles.

Quelles démarches peuvent être mises en œuvre pour estimer ces services et obtenir ainsi une estimation plus globale des performances de parcelles paysannes et des systèmes de culture à base de cocotiers ?

Les différentes fonctions et avantages des systèmes de cultures agroforestiers sont largement reconnues mais jamais réellement évaluées (Nair, 2001, Kumar et Nair, 2004). Les méthodes économiques classiques apparaissent peu adaptées à l'évaluation de ces systèmes, en particulier parce qu'elles ne permettent pas de prendre en compte les fonctions écologiques, sociales et culturelles de ces systèmes (Torquebiau et Penot, 2004). Ces auteurs proposent alors la mise au point d'une démarche alternative qui intégrerait les diverses externalités de ces systèmes (conservation de l'agrobiodiversité, séquestration de carbone, etc...) et leur participation dans la gestion des risques, les stratégies patrimoniales à long terme. Pour évaluer ces systèmes, il apparaît alors indispensable de prendre en compte ces différents aspects dans une dynamique à long terme caractéristique des systèmes de culture agroforestiers et de se positionner au niveau de l'exploitation dont ils sont une des composantes de la stratégie de production (Torquebiau et Penot, 2004).

(4) Utiliser la modélisation pour aller du diagnostic des états du milieu à l'exploration d'une gamme de situations plus large

Les modèles utilisés dans ce travail et leurs limites

Les exemples d'utilisation des simulations réalisées dans ce travail montrent comment, en réalisant des expériences virtuelles, la plate-forme Archimed (Dauzat et Eroy, 1997) et le modèle RACINE (Jourdan et Rey, 1997) peuvent constituer des outils pertinents pour le diagnostic et la conception de systèmes de culture. Les simulations permettent d'élargir le diagnostic réalisé sur quelques situations décrites sur le terrain à une gamme de situations plus large, avec des classes d'âge et des dispositifs de plantations des cocotiers différents. Au terme de ce travail de thèse, il est possible de générer des simulations permettant de représenter sur la quasi-totalité du cycle de culture des cocotiers :

- (i) l'architecture de la partie aérienne des cocotiers et de calculer la transmission du rayonnement sous le couvert de cocotiers (plate-forme Archimed)

- (ii) l'architecture de la partie souterraine des cocotiers (racines primaires exclusivement) et l'occupation du sol par les racines primaires de cocotiers (RACINE).

Ces modèles ont été calibrés en condition de grande plantation, où toutes les conditions sont favorables à la culture des cocotiers (peu de compétition pour la lumière, l'eau ou les éléments nutritifs). Les utiliser tels quel pour représenter le peuplement de cocotiers en plantations paysannes est revenu à poser comme hypothèse que l'architecture des cocotiers n'est pas modifiée par les conditions de culture. Une confirmation de l'architecture des parties aériennes et souterraines apparaît donc nécessaire pour utiliser ces modèles en conditions paysannes.

Les paramètres de ces modèles ont, par ailleurs, été établi à partir d'un peuplement monospécifique de cocotiers. Or, les parcelles paysannes de cocotiers se caractérisent par un peuplement plurispécifique où les cocotiers sont associés à diverses espèces, essentiellement ligneuses. Dans ces conditions, l'architecture des parties aériennes et souterraines des cocotiers peut être modifiée par les compétitions interspécifiques pour la lumière, l'eau, les nutriments ou l'occupation de l'espace par d'autres espèces. Il serait alors nécessaire de réaliser un calibrage des modèles pour qu'ils permettent de représenter le peuplement de cocotiers en conditions paysannes.

De plus, si l'architecture des cocotiers en conditions paysannes peut être décrite par simulation, ces modèles, ne prenant pas en compte les espèces associées aux cocotiers, ne permettent pas de représenter de manière globale l'ensemble du peuplement, cocotier et espèces associées.

Vers l'élaboration d'un cahier des charges pour modéliser le fonctionnement biophysique des systèmes de culture à base de cocotiers

Les modèles utilisés dans cette étude (Archimed et RACINE) permettent de prendre en compte la dynamique temporelle à long terme qui caractérise les cocotiers et ils offrent la possibilité de représenter une certaine dynamique spatiale avec la simulation de l'altération du motif de plantation des cocotiers. Mais, ne prenant pas en compte le caractère plurispécifique du peuplement, ils apparaissent cependant comme limités pour étudier les états du milieu sur les parcelles paysannes de cocotiers.

L'assemblage de différents outils constitue ainsi une démarche pluri-disciplinaire pour à la fois caractériser et évaluer les performances (ensemble des productions des différentes catégories d'espèces, restreint ici aux sorties de matières des parcelles) et les dynamiques des états du milieu des parcelles paysannes. Au final, cette démarche permet de proposer des voies d'évolution des systèmes de culture paysans en partant de l'analyse d'un point de vue externe des situations actuellement mises en œuvre par les exploitants.

IV-2) Les systèmes de culture à base de cocotiers actuellement mis en œuvre sur l'île de Malo sont-ils agroécologiquement durables ?

Quatre aspects d'un système permettent d'en déterminer la durabilité agroécologique : (1) sa production, (2) son efficacité, (3) sa stabilité et (4) sa résilience (Huxley, 1999). La production du système correspond aux sorties du système par unité de temps. L'efficacité d'un système correspond au rapport entre les sorties et les entrées du système. Plus ce rapport est important, plus le système serait efficace. La stabilité du système correspond au degré de fluctuation existant autour de la tendance moyenne de production du système. Enfin la résilience du système correspond à sa capacité à restaurer sa production après une perturbation importante ou une série de perturbations (Huxley, 1999). Dans les pages qui suivent, les aspects de stabilité et de résilience seront rassemblés en un seul point.

Dans ce travail un certain nombre d'éléments qui correspondent à des indicateurs de ces différents aspects de la durabilité ont été analysés. On se propose ici de les rassembler afin d'estimer si les systèmes de culture à base de cocotiers de l'île de Malo apparaissent, aux vues des résultats de ce travail, comme agroécologiquement durables.

(1) Production des systèmes de culture à base de cocotiers de l'île de Malo

Si en condition de grande plantation, la production de coprah correspond quasiment au double de la production sur les parcelles paysannes, cette différence doit être relativisée compte-tenu des multiples productions associées à la production de coprah sur les parcelles paysannes. A la production de coprah sur les parcelles paysannes, il convient en effet d'ajouter :

- la production d'espèces ligneuses fruitières (arbres à noix, agrumes, etc...),
- la production d'autres espèces ligneuses non fruitières (bois, produits médicinaux, ...)
- la production d'espèces herbacées vivrières (tubercules, feuilles,...),
- la production d'autres espèces herbacées,
- la production de culture de rente (cacaoyers éventuellement associés aux cocotiers).

En se focalisant sur la quantification de la production des cocotiers, des cacaoyers et des espèces herbacées vivrières, seule une partie de la production (correspondant aux sorties de matières présentant un intérêt économique – *i.e.* commercialisable ou susceptible de l'être) des parcelles paysannes a été quantifiée dans le cadre de cette étude.

La production de coprah a été estimée comme en moyenne de l'ordre de 1,1 t de coprah.ha⁻¹.an⁻¹, dont 0,96 t.ha⁻¹.an⁻¹ récoltée pour la commercialisation du coprah. La production évolue au cours du développement des cocotiers ; elle est maximale entre la 12^{ème} et la 35^{ème} année après la plantation des cocotiers avec un niveau de production de l'ordre de 1,5 t.ha⁻¹.an⁻¹, et se maintiendrait entre 1,5 t.ha⁻¹.an⁻¹ et 1 t.ha⁻¹.an⁻¹ avant de diminuer aux alentours de la 60^{ème} année après la plantation des cocotiers. Aucune différence significative de la quantité de coprah produite entre les différents systèmes de culture paysans n'a été mise en évidence.

La production moyenne d'une zone de jardins vivriers estimée est en moyenne de 23,5 t.ha⁻¹.an⁻¹, très variable en fonction de la composition du jardin (c.v = 50%). Cette production correspondrait à une production moyenne de 0,94 t.an⁻¹ pour une surface de 400 m² de jardin, implantée sur les parcelles paysannes de cocotiers. La composition des jardins vivriers

retrouvés sur les parcelles des différentes trajectoires présentant la même variabilité, aucune différence de production entre les zones de jardins complantés de cocotiers juvéniles (des parcelles de la trajectoire agroforestière et agropastorale) et les jardins sans cocotiers n'a été mise en évidence. La production des zones de jardins vivriers implantées au sein de trouées sur les parcelles de cocotiers en production est moins importante : une production de l'ordre de $6 \text{ t. ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ a été estimée pour une zone de jardin (composée essentiellement d'espèces rustiques) située sur une parcelle de la trajectoire agropastorale. Ces données restent toutefois insuffisantes pour conclure sur l'évolution de la productivité des zones de jardins au cours du développement des cocotiers (à partir de cette seule évaluation).

La production des cacaoyers a été estimée à $750 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ sur les parcelles de la trajectoire agroforestière.

La combinaison des dynamiques de production des différentes catégories d'espèces composant le peuplement des parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo génère une production variée, continue au cours de l'année (noix de coco, différents fruits, feuilles, légumes, tubercules etc...) et d'une année sur l'autre pendant une longue période correspondant au cycle de culture des cocotiers.

La diversité de production apparaît indispensable à prendre en compte dans l'évaluation des performances des parcelles ; ainsi à la production moyenne d'une tonne de coprah par ha-1 (ou d'environ une tonne de produits vivriers lorsque les cocotiers sont juvéniles), il faut ajouter une production variée de fruits, de feuilles à usages divers, de bois utilisé comme combustible ou pour la construction. Sept types d'usage ont ainsi été mis en évidence pour les productions des espèces implantées sur les parcelles paysannes de cocotiers : (i) usage commercial (vente pour l'exportation ou sur le marché local), (ii) usage pour l'alimentation humaine (autoconsommation), (iii) usage pour la construction (bois d'œuvre, palmes pour la couverture des toitures), (iv) usage comme combustible, (v) usage pour l'artisanat ou utilisation dans la vie quotidienne et (vi) usages dans l'alimentation animale (appétable) et (vii) usages médicinaux ou coutumiers. Pour le cocotier, par exemple, à la production de noix pour la confection de coprah, il faut ajouter la production de noix à boire (éventuellement commercialisée), la production de noix pour l'autoconsommation familiale (estimée en moyenne à 6 noix par famille et par jour, Mc Gregor, 1999a) ou animale (à Avunatari, principal village de la zone Ouest de Malo, on donne entre 1 et 2 noix de coco germées par jour par cochon élevé près de la maison). Les autres parties du cocotier sont également utilisées pour des usages variés.

En plus de cette diversité de sorties de matières issue du peuplement plurispécifique des parcelles paysannes de cocotiers, de nombreux services (sociaux et écologiques) sont assurés par ces parcelles.

Parmi les fonctions sociales/économiques des parcelles paysannes, on peut citer le fait de

- (i) générer via la commercialisation du coprah (et éventuellement du cacao) un revenu monétaire qui représente la principale source de revenu de la majorité de la population de Malo,
- (ii) participer à la sécurité alimentaire en produisant des fruits, noix, feuilles qui constituent un apport alimentaire à forte valeur nutritionnelle (vitamines, acides gras essentiels...) substantiel,
- (iii) constituer un patrimoine qui est transmis à la descendance,

- (iv) participer au maintien de la cohésion sociale avec des regroupements de producteurs organisés pour récolter le coprah, mais aussi le maintien de la hiérarchie sociale
- (v) participer au bien être de la population avec la production d'ornements, de décoration,

Les parcelles paysannes de cocotiers assurent également des fonctions écologiques, parmi lesquelles on peut citer :

- (i) séquestrer le carbone ; la séquestration de carbone est supposée être importante pour les grandes plantations de cocotiers, une quantification précise de la séquestration de carbone par les plantations de cocotiers du Vanuatu est en cours (O. Roupsard *et al.*, 2004)
- (ii) participer à la conservation de la diversité inter et intra spécifique des espèces cultivées, avec une forte diversité spécifique (en moyenne 16 espèces différentes cultivées par parcelle) et intraspécifique.
- (iii) constituer des couloirs de biodiversité au sein de l'île, offrant des refuges à la faune locale (insectes, oiseaux, roussettes, etc...).

La production des systèmes de culture paysans se caractérise ainsi par une grande diversité de sorties de matières issue du peuplement plurispécifique des parcelles paysannes de cocotiers ainsi que par de nombreuses fonctions sociales et écologiques.

(5) Efficience des systèmes de culture à base de cocotiers de l'île de Malo

L'efficience d'un système correspond à sa productivité exprimée par rapport à d'autres facteurs que l'unité de surface nécessaire pour obtenir une quantité de produit par unité de temps (mesure de rendement.). La productivité de la terre est un paramètre important mais il n'est pas suffisant à lui seul, pour juger des performances d'une parcelle. Par exemple si la même quantité de production par unité de temps et de surface est obtenue pour deux parcelles A et B mais que pour cela, les apports sur la parcelle A sont plus importants que sur la parcelle B, les performances de ces parcelles ne sont pas similaires, la parcelle B, produisant autant avec moins d'apport, est plus efficiente. Pour juger des performances des parcelles, il apparaît donc nécessaire de prendre en compte les différents facteurs participant à la production : capital, travail, les intrants apportés par l'exploitant (engrais, pesticides).

Le capital foncier nécessaire pour la plantation d'une parcelle de cocotier est le plus souvent transmis par les ascendants.

Intrants

Les parcelles paysannes de cocotiers sont cultivées sans intrant chimique (pesticide ou engrais). Aucun matériel spécifique n'est acheté pour cultiver ces parcelles. L'outillage est composé d'une machette, d'un bâton à fouir ou une barre à mine pour la plantation des cocotiers, une tronçonneuse est parfois utilisée pour découper les arbres les plus imposants, mais cet outillage n'est pas spécifiquement destiné à la culture des cocotiers. Les systèmes de culture à base de cocotiers apparaissent ainsi très efficaces vis-à-vis des intrants.

Travail

Sur les parcelles paysannes, les principales opérations culturales sont :

- La plantation de la parcelle avec une défriche progressive des cocotiers et la culture de jardins vivriers au cours de la phase juvénile des cocotiers,
- Une fois les cocotiers en production, les principales opérations sont la récolte de coprah (en moyenne trois fois par an), l'entretien de la parcelle (essentiellement rassembler les palmes tombées au sol) est réalisée au moment de la récolte de coprah lorsque l'on rassemble les noix (voir annexe 8).
- Le travail sur les autres espèces (fruitiers, etc....) semble essentiellement être d'en récolter la production (agriculture de cueillette). Cette récolte qui est réalisée au hasard d'un passage sur la parcelle ou au cours d'un déplacement spécifique selon les besoins de la maisonnée et le calendrier de production des différentes espèces.
- Le travail nécessaire à la production de bovins sur ces parcelles est réalisé en quelques minutes par jour auxquelles il faut ajouter le temps de parcours nécessaire pour aller de la maison à la parcelle lorsque les bovins sont conduits à la corde. Lorsqu'ils effectuent des parcours entre les parcelles, il est nécessaire de les déplacer d'une parcelle à l'autre, ce qui peut prendre de quelques heures à, au maximum, une journée suivant la distance entre les parcelles et le nombre de têtes à déplacer.
- Les cacaoyers éventuellement associés aux cocotiers sur les parcelles paysannes sont peu entretenus. La récolte a lieu une à deux fois par an, entre avril et juin, les fèves sont vendues vertes ou après séchage au soleil.

La charge de travail apportée sur les parcelles paysannes évolue au cours du développement des cocotiers. L'essentiel du travail est apporté lors de la période immature des cocotiers, avec la défriche progressive de la jachère arborée et la culture de jardins vivriers associés aux cocotiers juvéniles. Une fois les cocotiers en production, le seul travail effectué sur la parcelle serait la récolte de coprah (en moyenne trois fois par an), des fruits des espèces associées aux cocotiers et éventuellement de fèves de cacao. Au stade sénescence des cocotiers, la charge de travail sur la parcelle diminue progressivement (les cocotiers devenant de moins en moins productifs, la fréquence de récolte du coprah est diminuée). La charge de travail peut être aussi être augmentée si des espèces vivrières ou une replantation de cocotiers est installée sur la parcelle.

Morelli (2003) estime qu'avec une production importante et sans intrant la productivité du travail dans les jardins vivriers est élevée. Comparés à des systèmes de culture monospécifiques avec travail du sol, l'efficacité du travail dans les jardins mélanésiens (où aucun travail du sol n'est réalisé) serait élevée. La principale charge de travail est la défriche du terrain. Les autres opérations : plantation (sans travail du sol), désherbage et récolte sont ensuite réalisées au cours du passage de l'exploitant sur sa parcelle ; entre 1 heure et 1 demi-journée, et ce deux à cinq fois par semaine. Le temps de travail sur les jardins diminue progressivement, après deux à cinq années, seule la récolte des produits à cycle long est encore réalisée.

Une fois la parcelle paysanne de cocotiers en production, le travail se limite à la récolte de coprah (et éventuellement des fèves de cacao) qui en moyenne est effectuée 3 fois par année.

Caillon (travaux en cours) montre que la production de coprah constitue « un dur labeur » à la productivité limitée. Avec trois récoltes par an, pour un prix d'achat de 194 € $\cdot$ t⁻¹ de coprah³⁸, la production de coprah rapporterait aux exploitants de Vêtuboso entre 189 et 113 € $\cdot$ ha⁻¹·an⁻¹. A Vêtuboso (Vanua Lava), l'obtention de 325 kg de coprah nécessite l'équivalent de 13 journées de travail, ce qui correspond à l'équivalent journée de 6 personnes pour les opérations de décoquage auquel il faut ajouter la journée d'une personne pour le ramassage de bois, trois journées d'une personne pour le séchage et deux journées d'une personne pour le transport³⁹ (Caillon, travaux en cours). Une journée de travail dans les plantations de cocotiers de Vêtuboso permettrait ainsi l'obtention de 4,8 € (avec 1€ = 129 VT). Sur l'île de Santo, on a estimé qu'une force de travail de 10 à 20 hommes.jour⁻¹ était nécessaire pour la production de coprah d'une parcelle (toutes étapes : du rassemblement des noix, du transport au lieu d'achat inclus) (Lamanda, 2001).

Les récoltes de coprah apparaissent comme des pics de travail, dont la rentabilité est directement liée au prix d'achat du coprah (Lamanda, 2001). Si la production de coprah constitue un dur labeur à la productivité limitée, elle ne constitue cependant qu'une des productions des parcelles paysannes en production et il convient de replacer la somme de travail mobilisée pour la récolte de coprah et l'entretien de la parcelle en relation avec la production globale de la parcelle. La production des cocotiers étant continue tout au long de l'année et les noix pouvant attendre au sol plusieurs semaines avant d'être récoltées, il existe de plus une grande flexibilité dans l'utilisation de la main-d'œuvre pour la récolte de coprah. Cette flexibilité du travail s'accorde bien aux diverses obligations sociales et aux rythmes de travail intermittents de la société mélanésienne (Labouisse, 2004a). Le temps de travail sur les parcelles de cocotiers en production étant limité à celui nécessaire à la récolte de coprah (et éventuellement des fèves de cacao), ce type de système de culture permet ainsi de consacrer l'essentiel du temps de travail des exploitants à d'autres activités.

Dans les systèmes de culture paysans à base de cocotiers, l'essentiel de l'investissement en travail est réalisé au cours de la phase juvénile des cocotiers (avec la culture des jardins vivriers), puis conduit à une très forte productivité du travail (liée à une moindre charge de travail sur les parcelles pour une production variée) au cours de la phase productive des cocotiers.

(3) Stabilité et résilience des systèmes de culture à base de cocotiers de l'île de Malo

Pour un système agricole, la résilience est la capacité à s'adapter face à une perturbation externe ou une série de perturbations, avec un minimum d'effet sur sa productivité (Trenbath, 1999). La résilience d'un système serait dépendante de son niveau d'agrobiodiversité, mais aussi selon Szabolcs (1994) de la capacité du sol les impacts physiques, chimiques et biologiques de phénomènes naturels ou anthropiques.

La stabilité et la résilience des systèmes de culture à base de cocotiers sont discutées ci-dessous en rassemblant les indicateurs relatifs : (i) au potentiel de fertilité du milieu et son évolution au cours du développement des cocotiers dans les trajectoires paysannes, (ii) à la diversité interspécifique en lien avec la gestion des risques climatiques, parasitaires et

³⁸ avec la tonne de coprah achetée 25 000 VT et 129 VT = 1 Euro

³⁹ Sur Malo, le transport du coprah jusqu'au lieu de vente pourrait être réduit à une journée/homme.

économiques, (iii) aux interactions spatiales des systèmes de culture à base de cocotiers avec les autres systèmes, et (iv) aux dynamiques d'évolution temporelle des systèmes de culture à base de cocotiers.

(i) Potentiel de fertilité

Après une légère diminution de la teneur initiale en matière organique du sol suite à la mise en culture des parcelles, la teneur en matière organique du sol (MOS) reste élevée (environ 11,6% dans les 20 premiers cm de sol), et ce quelque soit le type de trajectoire mis en oeuvre. Le rapport Carbone/Azote reste stable au cours du développement des cocotiers sur les parcelles paysannes, témoignant d'une bonne minéralisation de la MOS.

Les analyses de la composition minérale du sol montrent par ailleurs que le pH est stable et proche de la neutralité ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}^{40} = 6,7$ dans les 35 premiers cm de sol, c.v= 5%), (ii) la capacité d'échange cationique (CEC) reste élevée au cours du développement des cocotiers dans la trajectoire agropastorale sur sol de plateaux (CEC= 44,2 méq/100g dans les 20 premiers cm de sol (c.v.= 22%) et 27,15 méq/100g entre 20 et 35 cm de profondeur de sol (c.v= 22%)-annexe 14). L'important stock d'éléments nutritifs dans la solution du sol avant la plantation des cocotiers serait relativement conservé par les pratiques paysannes mises en oeuvre pour la culture des cocotiers.

Les enquêtes de diagnostic foliaire réalisées sur les parcelles de la chronoséquence représentant la trajectoire agropastorale ont par ailleurs montrée que l'état nutritionnel des cocotiers était satisfaisant, et ce même après 50 années de culture sur le sol de plateaux de Malo. Les pratiques paysannes ne dégraderaient pas le potentiel de fertilité du sol de plateaux de l'île de Malo.

(ii) Diversité et gestion des risques

Avec un total de 90 espèces identifiées sur les parcelles de cocotiers et en moyenne 16 espèces différentes par parcelle, les parcelles paysannes de cocotiers se caractérisent par une importante diversité interspécifique, à laquelle il faudrait ajouter une diversité intraspécifique non caractérisée dans cette étude. Cette diversité interspécifique génère une diversité de production pouvant être interprétée en terme de gestion des risques :

(i) gestion des risques climatiques, essentiellement cycloniques : (a) l'association d'espèces de natures diverses peut permettre en cas de cyclone de reconstituer rapidement une partie de la production, (b) la vente de coprah peut permettre de s'acheter des vivres en cas de destruction totale de la récolte des produits vivriers (Allen, 2000).

(ii) gestion des risques parasitaires : la combinaison d'espèces permet de diminuer les risques de destruction totale de la végétation par une attaque parasitaire de type « hôte spécifique ».

(iii) gestion des risques économiques : la commercialisation de coprah, apportant un revenu monétaire à la famille peut permettre d'acheter des produits manufacturés et participe à la réduction de la dépendance de la population vis-à-vis de la production de produits vivriers pour assurer sa subsistance (Allen, 2000). La rentabilité de la production de coprah est cependant fortement dépendante des fluctuations du cours mondial du coprah.

⁴⁰ Avec un pH cobaltihexamine proche de la neutralité, le pH H_2O correspond au pH de la solution du sol.

Lorsque le prix d'achat du coprah est faible, d'autres produits issus des parcelles de cocotiers (essentiellement des fruits...) peuvent être commercialisés, pour compléter le revenu monétaire de l'exploitation.

(iv) Interactions spatiales avec les autres systèmes :

Dans ce travail, on a mis en évidence le schéma d'occupation du territoire de l'île de Malo par les cocoteraies. La cocoteraie se développe depuis le début du siècle selon deux grandes directions : (1) du centre des villages vers la périphérie et (2) du littoral vers l'intérieur de l'île. Ce schéma d'occupation du territoire par la cocoteraie est un schéma classique, décrit par de nombreux auteurs pour les îles du Nord du Vanuatu (Barrau, 1955 ; Bonnemaïson, 1974 et Weightman, 1989). Les parcelles de cocotiers occupant durablement l'espace, leur extension implique la défriche de nouveaux espaces, réduisant ainsi progressivement les espaces en jachère ou de forêt. La réduction des espaces en jachère combinée à l'augmentation de la pression démographique conduit les exploitants, voulant maintenir ou augmenter la production de leurs parcelles de jardin, à réduire la durée de jachère entre deux cycles de culture sur les parcelles de jardin. Les cocoteraies apparaissent ainsi en compétition pour l'espace disponible avec les autres systèmes de production et en particulier avec les parcelles de jardins vivriers (Bonnemaïson, 1974). Caillon (travaux en cours) rapporte ainsi qu'aujourd'hui à Ambae (île du Nord du Vanuatu) les chefs coutumiers ont dû interdire l'extension des cocoteraies : les jardins vivriers sont localisés sur les sommets car toutes les terres côtières sont occupées par les cocoteraies. Si la situation est moins préoccupante sur l'île de Malo, l'essentiel de l'espace cultivable est néanmoins actuellement dédié aux cocoteraies. Avec l'augmentation de la pression démographique, la question du partage de l'espace encore disponible entre jardins et cocoteraies devient préoccupante.

(iv) Dynamiques temporelles des systèmes de culture à base de cocotiers

Au cours du développement des cocotiers, on peut distinguer une évolution vers deux grands types de structures de végétation : (i) une évolution vers une structure simple avec un profil constitué de 1 à 3 strates, comme dans les systèmes I, III, IV (lorsque des espèces vivrières sont associées aux cocotiers et cacaoyers) et (ii) une évolution vers une structure plus complexe avec un profil multi stratifié comme dans les systèmes II et V. Ces évolutions correspondraient à des dynamiques d'évolution temporelle de la production (sorties de matières et services) des parcelles paysannes, dont les déterminants sont à rechercher à un niveau supra parcellaire (par exemple au niveau de la gestion du foncier, de la combinaison des parcelles de jardins et de cocotiers en production au sein de l'exploitation)

Au terme de cette étude, deux grandes voies d'évolution à long terme voir très long terme des systèmes de culture à base de cocotiers apparaissent :

(1) une occupation permanente de l'espace cultivé (agroforesterie simultanée) par la cocoteraie lorsqu'une nouvelle génération de cocotiers est implantée avec une proportion variable d'espèces associées. Lorsque la cocoteraie n'est pas replantée, l'espace pourrait être progressivement « re-colonisé » par des cultures vivrières, installées en bordure des parcelles et dans les trouées (situations I_{1C}).

(2) le retour à une jachère arborée dans laquelle les différentes générations de cocotiers sont dominées et disparaissent progressivement (systèmes II et V, respectivement agroforêts à cocotiers et à cocotiers et cacaoyers). Le potentiel de fertilité du sol de plateau ne semblant

pas être dégradé par les pratiques paysannes pour la culture du cocotiers, il serait possible après le retour à la jachère arborée de cultiver à nouveau l'espace occupé par les cocoteraies (agroforesterie séquentielle avec des pas de temps long de l'ordre de la centaine d'années). Si la pression démographique se stabilise, ces voies d'évolution à très long terme pourraient atténuer, les compétitions spatiales entre cocoteraies, jardins vivriers et espaces en jachères.

Au terme de cette étude, la production des systèmes de culture paysans à base de cocotiers se caractérise par une grande diversité de sorties de matières, issue du peuplement plurispécifique des parcelles paysannes ainsi que par de nombreuses fonctions sociales et écologiques. Avec l'essentiel du travail investi sur ces parcelles pour la culture de jardin au cours du stade juvénile des cocotiers, puis limité à la récolte du coprah et autres productions, la productivité du travail dans ces systèmes de culture apparaît élevée.

La faible quantité de travail attribuée aux parcelles paysannes de cocotiers en production permet aux exploitants de se consacrer à d'autres activités. Par ailleurs, la diversité interspécifique de ces parcelles permet une certaine gestion des risques climatiques /parasitaires ou économiques. Considérant ces aspects, les systèmes de cultures semblent pouvoir être considérés comme des systèmes de culture agroécologiquement durables.

Cependant, en occupant l'espace cultivable de façon permanente, les systèmes de culture à base de cocotiers sont en compétition avec les autres systèmes de culture, et en particulier avec les jardins vivriers, malgré leur réimplantation possible dans les trouées des cocoteraies sénescences ou leur culture. La diminution progressive de l'espace cultivable conjuguée à la pression démographique croissante et à la tendance à la baisse des cours du coprah pose aujourd'hui la question de la valorisation de l'espace occupé par les cocoteraies paysannes.

IV-3) Quelle perspectives de développement pour les parcelles paysannes de cocotiers de l'île de Malo?

La diminution progressive de l'espace cultivable conjuguée à la pression démographique croissante et à la tendance à la baisse des prix d'achat du coprah posent aujourd'hui la question de la valorisation de l'espace occupé par les cocoteraies paysannes. Au terme de cette étude, deux grandes voies de valorisation de l'espace actuellement planté en cocotiers apparaissent envisageables : (1) valoriser localement la production de coprah pour diminuer la dépendance vis-à-vis des cours mondiaux du coprah, (2) augmenter la production des parcelles paysannes en y implantant des espèces vivrières afin de réduire la compétition pour l'espace entre jardin et cocoteraies.

(1) Valoriser localement la production de coprah

Valoriser localement la production de coprah permettrait de restreindre la dépendance des exploitants vis-à-vis des cours mondiaux du coprah et ainsi de maintenir voire d'améliorer la rentabilité de la production pour les exploitants. Une des perspectives de l'utilisation locale de la production de coprah est l'utilisation de l'huile de coprah comme biocarburant / biofuel.

L'huile de coprah utilisée comme biocarburant, permettrait, en fonction des cours du gazole et de la production d'huile, une diminution des coûts de transport des zones rurales vers les lieux d'achat des productions agricoles (Ribier *et al.*, 2004). En apportant une source d'énergie en zones rurales, l'huile de coprah pourrait y permettre le développement d'activités annexes (par exemple : vente sur le marché urbain de produits frais via le maintien d'une chaîne du froid). Cette perspective fait actuellement l'objet d'un projet pilote dans la zone Nord Est de Santo (coordonné par POPACA Vanuatu : <http://popaca.org>)

(2) Augmenter la production des parcelles en y implantant des espèces vivrières

La diversification des productions, et en particulier la production de cultures vivrières et de fruits commercialisables sur le marché local pourrait constituer une voie de valorisation des espaces plantés en cocotiers. Elle permettrait à la fois de limiter la dépendance des exploitants vis-à-vis des fluctuations du cours mondial du coprah sur le marché mondial et d'augmenter la production alimentaire commercialisable sur le marché urbain.

D'un point de vue agronomique, l'installation de cultures vivrières sur les parcelles de la trajectoire agropastorale où les cocotiers sont les plus âgés apparaît comme une voie de valorisation pertinente car en adéquation avec les pratiques actuelles des exploitants. Les trouées résultant de l'altération du motif de plantation des cocotiers apparaissent en particulier comme des zones privilégiées où planter ces cultures additionnelles.

Dans cette optique, on a en particulier mis en évidence :

Une forte teneur en matière organique de sol (MOS) est conservée au cours du développement des cocotiers dans les trajectoires paysannes sur sol de plateau. Les enquêtes de diagnostic foliaire ainsi que les analyses de la composition minérale du sol laissent, par ailleurs, supposer qu'un important stock d'éléments nutritifs est conservé au cours du développement des cocotiers, pouvant a priori assurer la nutrition d'espèces associées aux cocotiers dans la trajectoire agropastorale sur sol de plateau.

Le rayonnement transmis sous le couvert ne constituerait pas une limite au développement de cultures sous le couvert de cocotiers en production. Cinquante ans après la plantation des cocotiers, sur 40% environ de la surface d'une parcelle, le rayonnement transmis sous le couvert est supérieur au seuil de 50% proposé par Beer (1997) comme optimum pour le développement et la production des espèces tolérantes à l'ombrage. Les trouées, résultant de l'altération du motif de plantation des cocotiers et sur lesquelles le seuil de transmission est plus important, apparaissent comme des zones préférentielles pour planter ces espèces sur les parcelles paysannes.

L'encombrement racinaire pourrait cependant constituer, dès la 10^{ème} année après la plantation des cocotiers puis tout au long du cycle, un facteur limitant probable de l'association de culture sur les parcelles de cocotiers. Des racines primaires de cocotiers occupent l'interligne dès la 10^{ème} année après la plantation des cocotiers, et cette occupation perdure ensuite au cours du développement des cocotiers, que le motif de plantation soit altéré ou pas. La production des espèces pour lesquelles les organes sont récoltés, comme les racines et tubercules, plantes dominantes des jardins mélanésiens, pourrait être limité par l'encombrement racinaire du sol.

Pour augmenter la production des parcelles paysannes de cocotiers en implantant des cultures dans les trouées, on recommande donc de choisir préférentiellement des espèces tolérantes à l'ombrage et dont on récolte les organes aériens.

Par ailleurs, dans le système mélanésien chaque type de culture est culturellement dédié à un espace spécifique (Bonnemaison, 1996). Caillon (travaux en cours) a mis en évidence le lien fort qui existe entre l'organisation de l'espace cultivé et les espèces culturellement importantes (taro, ignames). Dans son travail de thèse, elle montre que sur l'île de Vetubôso, cocotier et taro sont deux espèces associées à des valeurs sociales et culturelle très différentes, et par conséquent cantonnées à des territoires géographiques différents. Compte-tenu de ce lien entre la valeur sociale et culturelle des espèces et leur positionnement géographique dans l'espace cultivé, il apparaît peu envisageable, dans les conditions actuelles, d'associer sur le même espace des espèces aux valeurs culturellement différentes voire opposées comme les taros et les cocotiers.

Pour augmenter la production des parcelles paysannes de cocotiers, en y implantant d'autres espèces, on choisira donc préférentiellement des espèces dont l'importance culturelle ne les lie pas à un espace particulier. Parmi ces espèces, on peut citer les bananiers, les papayers, les choux canaques qui sont actuellement installés sur les bordures ou dans les trouées des parcelles en production, de la zone Ouest de Malo, où il existe une pression foncière importante. Les épices, espèces à forte valeur ajoutée, apparaissent également comme une perspective intéressante pour augmenter la rentabilité des parcelles paysannes de cocotiers. Parmi celles-ci, citons le poivre et la vanille, liane épiphyte dont la production de gousses (si la technique de pollinisation est maîtrisée) pour lesquelles il existe déjà une production et surtout un marché local associé à une filière de commercialisation relativement stabilisée. Il convient en effet de noter que la rentabilité d'une utilisation plus intensive des parcelles paysannes de cocotiers, en y implantant des espèces rustiques et/à forte valeur ajoutée, est liée à l'existence de marché et de filières de commercialisation stabilisées.

IV-4) Les limites de l'approche proposée pour caractériser et évaluer les systèmes de culture paysans à base de cocotiers

Pour proposer des options de valorisation de l'espace planté en cocotier, il reste nécessaire de compléter la démarche proposée dans ce travail par une évaluation interne des systèmes de culture paysans à base de cocotiers (du point de vue de l'exploitant). Il apparaît en effet indispensable de vérifier l'adéquation entre les objectifs de l'exploitant et les résultats obtenus sur ses parcelles de cocotiers mais aussi d'évaluer quelle est la marge de manœuvre des exploitants pour modifier leurs pratiques sur leurs parcelles de cocotiers.

Il est important de confronter les résultats de la parcelle aux objectifs assignés par l'exploitant à cette parcelle pour pouvoir proposer des voies de valorisation susceptibles d'être retenues par les exploitants (car répondant à leurs besoins). L'objectif de l'exploitant, n'étant pas systématiquement celui de la productivité maximale, comme cela a pendant longtemps été

implicitement supposé par les agronomes, en particulier pour des parcelles de cocotiers qui possèdent d'importantes fonctions sociales (patrimoine, hiérarchie sociale).

Si les performances des parcelles de cocotiers ne sont pas en adéquation avec les objectifs des exploitants, alors il importe avant tout de comprendre pourquoi, afin de proposer des solutions techniques permettant aux exploitants d'atteindre leurs objectifs. En revanche, si les performances des parcelles correspondent aux objectifs de l'exploitant compte tenu de sa stratégie de production actuelle, alors avant de proposer à l'exploitant de modifier sa stratégie il est nécessaire d'évaluer quelle est sa marge de manœuvre sur les parcelles de cocotiers. Est-il possible, compte tenu du fonctionnement actuel de l'exploitation d'apporter plus de travail sur les parcelles de cocotiers ?

Enfin, les propositions de développement ne sont peut-être pas à formuler au niveau de ces parcelles élémentaires, mais peut-être plutôt au niveau des autres composantes du système d'activité ou de la stratégie de production globale de l'exploitation.

L'échelle de la parcelle apparaît alors comme une échelle de travail nécessaire mais non suffisante pour évaluer les performances des systèmes de culture à base de cocotiers. L'échelle de l'exploitation se révèle en particulier comme indispensable pour comprendre la marge de manœuvre des exploitants (objectifs, contraintes..) sur les parcelles de cocotiers.

La longueur de la phase productive des cocotiers confère un statut particulier aux parcelles de cocotiers qui constitue un patrimoine familial exploité sur plusieurs générations, dont les objectifs peuvent être radicalement différents (figure 53).



Figure 53: Les générations passent, les objectifs évoluent (extrait d'un article sur les problèmes fonciers dans Pacific Weekly, Octobre 2002)

Le lien entre l'histoire humaine et les objectifs assignés aux cocotiers sont particulièrement forts et marquent durablement le territoire en créant des « paysages de cocoteraie ».

Les objectifs et les fonctions assignés aux différentes parcelles de cocotiers étant déterminés à des niveaux supra-parcellaire, pour les comprendre, il apparaît indispensable de les replacer dans l'exploitation et son territoire. Par exemple, la présence de cultures vivrières sur les parcelles de cocotiers peut être expliquée par la proximité du lieu d'habitation (minimisation des trajets). Une autre raison peut être l'absence de réserve foncière et d'espaces en jachère, les cultures vivrières étant alors nécessairement implantées sur les parcelles paysannes de cocotiers.

La distance au réseau de transport et notamment la position géographique des fours à coprah (route et point d'ancrage pour se rendre sur l'île de Santo où est commercialisée la majorité des productions) sont susceptibles de modifier les pratiques des exploitants. Par exemple, si le four est proche de la parcelle de l'exploitant et du réseau de transport, il est possible de sécher le coprah avec un faible coût de transport. En revanche, si le four est situé loin de la parcelle et du réseau de transport, les coûts de transports peuvent se révéler prohibitifs, et l'exploitant préférera alors vendre sa production en vert (albumen).

L'échelle du territoire (de l'exploitation et de l'île) doit ainsi être nécessairement prise en compte pour évaluer plus précisément les relations des parcelles de cocotiers avec les autres composantes du paysage, les fonctions écologiques des systèmes de culture à base de cocotiers et la rentabilité de sa production.

Conclusion & Perspectives

L'originalité de ce travail est d'avoir abordé à l'échelle de la parcelle les dynamiques temporelles à long terme qui caractérisent les systèmes agroforestiers à base de cocotiers. Ces dynamiques temporelles sont rarement prises en compte dans l'étude des systèmes agroforestiers, or celles-ci apparaissent indispensables pour comprendre les performances actuelles des systèmes et leurs possibilités d'évolution. Dans ce travail, différents outils relevant de différentes disciplines ont été associés pour caractériser (i) l'évolution de la structure de la végétation sur les parcelles paysannes au cours du temps et construire des chronoséquences correspondantes aux principales trajectoires ainsi identifiées et (ii) évaluer les performances des systèmes de culture paysans en comparant entre elles les parcelles composant ces chronoséquences.

La matrice des situations culturelles apparaît comme un outil pertinent pour replacer les différents types de structure de la végétation dans une perspective temporelle en mobilisant les histoires culturelles des parcelles. Pour estimer les performances du peuplement plurispécifique des parcelles paysannes, assimilées dans cette étude, aux sorties de matières des parcelles, nous avons proposé une démarche visant à représenter les productions des différentes catégories d'espèces sous forme de tableau de bord afin d'obtenir une représentation plus globale des performances.

Ce travail constitue ainsi une base pour une élaboration plus approfondie d'outils d'évaluation des performances des systèmes plurispécifiques à base de plantes pérennes.

Ce travail constitue par ailleurs une base pour la modélisation des dynamiques temporelles des systèmes de culture plurispécifiques, et notamment pour l'élaboration du cahier des charges en apportant à la fois : (1) une description spatiale du peuplement et de son évolution au cours du temps et (2) un diagnostic des facteurs agronomiques *a priori* déterminants des performances et la durabilité de ces systèmes (bilan radiatif, encombrement racinaire, MOS).

Pour évaluer les performances et la durabilité des systèmes de culture à base de cocotiers, l'échelle de la parcelle est primordiale mais non suffisante. Ainsi, pour déboucher sur des perspectives de développement susceptibles d'être retenues par les exploitants, la démarche proposée pour caractériser et évaluer les systèmes de culture paysans à base de cocotiers, doit être complétée par une évaluation de l'adéquation entre les objectifs des exploitants et les résultats obtenus sur leurs parcelles et par une estimation de la marge de manœuvre des exploitants sur ces parcelles. Pour cela, il est nécessaire de replacer ces systèmes de culture, avec leurs dynamiques temporelles à long terme, dans le fonctionnement des exploitations paysannes et du territoire.

Bibliographie

Allen M.G. (2000). Subsistence or Cash Cropping ? Food Security on Malo Island, Vanuatu. In : Bourke R.M., Allen M.G. and Salisbury J.G. (eds.) Food Security for Papua New Guinea - Proceedings of Papua New Guinea Food and Nutrition Conference. PNG University of Technology, Lae, 26-30 June 2000. Canberra ACT : 100-111.

Allen M.G. (2001). Change and Continuity : Land Use and Agriculture on Malo Island, Vanuatu. Master of Science. Canberra Australian National University : 201pp + annexe.

Anilkumar K.S. and Wahid P.A. (1988). Root activity pattern of coconut palm. *Oléagineux*. **43** (8-9): 337-340.

Atkinson D. (2000). Root Characteristics : Why and What to Measure. In : Smit A.L., Benough A.G., Engels C., van Noordwijk M., Pellerin, S. and van de Geijn S.C (eds). Root Methods. A Handbook. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg : 1-32.

Balasubramanian V. and Sekayange L. (1991). Area harvest equivalency ratio for measuring efficiency in multiseason intercropping. *IITA Research*. **2** : 16-19.

Barbier J. et Galletti S. (2002). Etude de la biodiversité agroforestière de deux terroirs villageois de la région de Ségou. Mémoire pour l'obtention des diplômes Ingénieur ENSAIA : (Nancy), DAT du CNEARC (Montpellier) et Ingénieur de l'ENITA (Bordeaux) : 190 pp + annexes.

Barrau J. (1955). L'agriculture vivrière en Mélanésie. Commission du Pacifique Sud (ed.), Nouméa : 201 pp.

Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. Série Techniques et Pratiques INRA ed, Paris : 257 pp.

Barrant C.I (1978). Coconut intercropped with cocoa. *Philippine Journal of Coconut Studies*. **3** (4) : 29-34

Beer J., Muschler R., Kass D. Somarriba E. (1997). Shade in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. **38** (1-3): 139-164.

Bellow J.G. and Nair P.K.R. (2003). Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology*. **114**: 197-211.

Ben-Dor E. and Banin A. (1995). Near Infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soils properties. *Soils Science of America Journal*. **59** : 364-372.

Bertand R. et Gigou J. (eds) (2000). La fertilité des sols tropicaux. Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve-Larose (eds) Paris : 397 pp.

Black C. and Ong C. (2000). Utilisation of light and water in tropical agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. **104** : 25-47.

Bonneau X. and Sugianto J. (1999). Intercropping with young hybrid coconut palms in climatically marginal areas. *Plantations, Recherche, Développement*. 6 (1) : 13-30.

Bonnemaison J. (1974). Espaces et paysages agraire dans le nord des Nouvelles Hébrides, l'exemple des îles d'Aoba et de Maewo (étude de géographie agraire). *Journal de la Société des Océanistes*. 44 & 45 : 153-281.

Bonnemaison J. (1996). Gens de Pirogues et Gens de la Terre- Les fondements géographiques d'une identité, l'archipel du Vanuatu- Livre 1. Orstom eds, Paris : 460 pp.

Bonzon B., Podwojewski P., Bourdon E., L'Huillier L., et de Monpezat P. (1991). Recherche préliminaires pour le développement de la culture du cocotier sur les petits archipels du Pacifique Sud. Comptes rendu de fin d'études d'une recherche financée par le ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur. Nouméa, ORSTOM : 129 pp + annexes.

Bradbury J.H. and Holloway W.D. (1988). Chemistry of tropical roots crops : significance for nutrition and agriculture in the Pacific. ACIAR Monograph, Canberra. n° 6 : 201 pp.

Braun-Blanquet J. (1932). Plant Sociology. The Study of plant communities. New York, London, McGray Hill. 439 pp.

Bridier B. (2000). Typologie des exploitations agricoles. Projet Optimisation des systèmes de production à base cocotier au Vanuatu. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) Montpellier : 29 pp.

Caldwell M.M. and Virginia R.A. (1989). Root Systems. In: Pearcy R.W., Ehlinger J.R., Mooney H.A. and Rundel P.W. (eds). Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation. Chapman and Hall. London: 367-398.

Caillon S. (2004). Kokonas mo taros blong Vanuatu : nem mo storian. IRD, Orléans, 70pp.

Caillon S. (2005). Biodiversités, quand les frontières entre culture et nature s'effacent... *Ecologie Politiques* (soumis).

Caillon S. (travaux en cours). Peut-on conserver et développer ? Cas de la gestion locale de la diversité variétale du cocotier et du taro au Vanuatu. Doctorat de Géographie, Université d'Orléans, IRD-CIRAD, Orléans, sous la direction du Dr. J.-P. Lescure (Ethnobotaniste).

Capillon A. (1993). Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de Doctorat de l'INA PG soutenue le 29/04/1993, Paris. Tome I et Tome II, 48 et 301 pp.

Caron P. (1997). Le zonage régional à dire d'acteurs. Connaître, représenter, planifier, agir, une méthodologie expérimentée dans le Nordeste du Brésil. In : Quelle géographie au CIRAD ? Document de travail du Cirad-SAR n°10. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement CIRAD (Montpellier) : 145-156.

Cescatti A. (1997). Modelling radiative transfer in discontinuous canopies of asymmetric crowns. I. Model structure and algorithms. *Ecological modelling*. 101 : 263-264.

Chantry G., Cabannes Y., Willemin V., Audefroy J. et Haas M. (1986). Le cocotier : production et mise en oeuvre dans l'habitat. (Dossier technologies et développement) Collectivités GRET - Cellule habitat, Ministère de la coopération, Paris : 149 p

Clarke W. C. and Thaman R.R. (eds) (1993). Agroforestry in the Pacific Islands: systems for sustainability. United Nations University, Tokyo : 297 pp.

Colas H. (1997). Association de cultures cocotier-cacaoyer : Modélisation de leur système racinaire, études préliminaires sur l'interaction racinaire et la consommation en eau des deux plantes. Thèse de Doctorat en Physiologie, Biologie des Organismes et des Populations Université de Montpellier II : 260 pp.+ annexes.

Craswell E.T., Lefroy, R.B.D. (2001). The role and function of organic matter in tropical soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems - *Managing Organic Matter in tropical soils: scope and limitations*. 61 (1-2) : 7-18.

Dalal R.C. and Henry R.J. (1986). Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near infrared reflectance spectroscopy. Soil Science Society of America Journal. 50 : 120-123.

Dauzat J. and Eroy M.N. (1997). Simulating light regime and intercrop yields in coconut based farming systems. European Journal of Agronomy. 7 : 63-74.

Das K.P. (1991). Economics of coconut-based farming systems. Coconuts Today. 8 : 72-79.

Das P.K. (1999). Coconut-based cropping systems in India and Sri Lanka. In : Ohler J.G. (ed) Modern Coconut Management. Palm Cultivation and Products. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome : 277-287.

Darwis S.N. et Tarigans D.D. (1990) Soil management of coconut based farming systems. Industrial Crops Research Journal. 2 (2) : 50-57.

de Nuce de Lamothe M. (1975). Pertes en coprah dues à la germination des noix. Oléagineux 30 (2) : 63-66.

de Nuce de Lamothe M., Pomier M. et de Taffin G. (1983). Cocotier Local ou cocotier hybride en milieu villageois ? Oléagineux. 38 (3) : 183-191.

de Nuce de Lamothe M. and Wuidart W. (1981). Les cocotiers Grands à Port-Bouet (Côte-d'Ivoire). 2. Grand Rennell, Grand Salomon, Grand Thaïlande, Grand Nouvelles-Hébrides. Oléagineux. 36 (7) : 353-365.

de Reffye P, Dinouard P and Barthélémy D. (1991). Modélisation et simulation de l'architecture de l'orme du Japon *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino (Ulmaceae) : la notion d'axe de référence. In: Edelin C. (ed). L'Arbre., Naturalia Monspeliensia, Montpellier : 251-266.

de Taffin G. (1998). Coconut. In : Coste R. (ed) Collection : The Tropical Agriculturalist, ICTA, London. 101 pp.

de Taffin G., Noël J-M. et Ribier V. (1993). Evaluation du secteur cocotier: Rapport de mission au Vanuatu du 22/1/1993 au 15/2/1993. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Paris. 91 pp.

de Taffin G., Zakra N., et Pomier M. (1992). Densité de plantation et nutrition minérale des cocoteraies. *Oléagineux*. **47** (4) : 165-170.

Doré T., Sebillotte M. et Meynard J-M. (1997). A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*. **54** (2) : 169-188.

Elevitch C.R et Wilkinson, K.M. (2000) Agroforestry Guides for Pacific Islands. <http://www.agroforestry.net/afg/book.html>

El Houmaizi M.A. (2002). Modélisation du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et application à la simulation du bilan radiatif en oasis. Thèse de Troisième cycle Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences-Semlalia. Marrakech, Maroc. 128 pp + annexes.

Fernandes E.C.M. and Nair P. K. R. (1986). An Evaluation of the Structure and Function of Tropical Homegardens. *Agricultural Systems*. **(21)** : 279-310.

Foale M.A, Ashburner G.R, Friend D. (1994). Canopy development and light interception of coconut. In : Foale M.A. Foale et. Linch P.W (eds). Coconut improvement in the South Pacific (Proceedings of a workshop held in Taveuni, Fiji Islands, 10-12/11/93). Canberra: ACIAR Proceedings n° **53** : 71-73.

Foy J.T. (1991). Is Vanuatu's Promotion of Improving Coconuts Meeting the Farmer's Needs? *Journal of South Pacific Agriculture*. **1** (3) : 11-15.

Fraser G.W, Canham C.D and Lertzman K.P. (1999) Gap Light Analyser (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Copyright © 1999, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. <http://www.ecostudies.org/gla/>

Frémond Y. et Ouvrier M. (1971). Importance pour le cocotier d'une nutrition minérale convenable dès la plantation sur sable côtier. *Oléagineux* **26** (10) : 609-616.

Frémont Y., Ziller R., et de Nuce de Lamothe M. (1966). Le cocotier. Collection : Techniques agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose (eds) Paris : 267 pp.

Frontier S., et Pichod-Viale D. (1998). Ecosystèmes Structure Fonctionnement Evolution. Dunod eds, Paris: 447 pp.

Gajaseni. J. and N. Gajaseni (1999). Ecological rationalities of the traditional homegarden system in the Chao Phraya Basin, Thailand. *Agroforestry Systems* **46**: 3-23.

Gutman G. and Ignatov A. (1998). The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing*. **19** (8) : 1533-1543.

Greindl D. (2000). Vivres en villes, des marchés aux jardins sur l'archipel du Vanuatu. Thèse de doctorat en Sciences sociales, orientation anthropologie, Université Libre de Bruxelles : 325 pp + annexes.

Hallé et Oldeman R.A.A (1970). Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson, Paris : 178pp.

Henderson T.L., Baumgardner M.F., Franzmeier D.P., Stott D.E and Coster D.C. (1992). High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. Soil Science Society America Journal. **56** : 865- 872.

Hiebsch C.K. and Mc Collum R.E. (1987). Area * Time Equivalency ratio: a method for evaluating the production of intercrops. Agronomy Journal. **79**; 15-22.

Huxley P.A. (ed.) (1999). Tropical Agroforestry. Blackwell Science : 371 pp.

IRHO (1993). Rapport d'activité de la station de recherche de Saraoutou CARFV - Années 1991-1992. 88 pp. + annexes.

IRHO (1969). Accroissement de la production de coprah aux Nouvelles Hébrides. Tome I: le cocotier aux Nouvelles-Hébrides, conditions écologiques, étude régionale des cocoteraies existantes. Institut de Recherches des Huiles et Oléagineux (IRHO), Paris : 145 pp.

Jackson J.E. (1983). Light climate and crop-tree mixtures. In Huxley P.A (ed). Plant Research and Agroforestry. ICRAF, Nairobi : 365-377.

Janse A.R.P., Hulsbos W.C. et Ochs R. (1955). Etude des modifications physiques d'un sol de Savane par la culture du palmier à huile. Oléagineux. **10 (5)** : 321-331.

John J. and Nair A. M. (2001). Allelopathy - A cause of Concern in Coconut-based Home Gardens in Kerala. Indian Coconut Journal. **31 (10)** : 11-12.

Jourdan C. (1995). Modélisation de l'architecture et du développement du système racinaire du palmier à huile (*Elaeis guinensis* Jacq.). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II. 229 pp + annexes.

Jourdan C. and Rey H. (1997). Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guinensis* Jacq.) root system. I The model. Plant and Soil. **190** : 217-233.

Jouve P. (1992). Le diagnostic du milieu rural - de la région à la parcelle - Approche systémique des modes d'exploitations agricoles du milieu. Collection Etudes et Travaux du CNEARC, n° **6** : 40 pp.

Kasturi Bai K.V., Rajagopal V., Prabha C.D., Ratnambal M.J. and George M.V. (1996). Evaluation of coconut cultivars and hybrids for dry matter production. Journal of plantation crops. **24 (1)** : 23-28.

Kowal J.M.L. and Tinker P.B.H. (1959). Soil changes under a plantation established from high secondary forest. Journal West African Institute Oil Palm Research. **2** : 376-389

Kumar B.M., George S.J., Chinnamani S. (1994). Diversity, structure and standing stock of wood in the homegardens of Kerala in penninsular India. *Agroforestry Systems*. **25**: 243-262.

Kumar B.M. and Nair P.K.R. (2004). The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems*. **(61)**: 135-152.

Labouisse J-P. (2004 a). Systèmes agraires et économie du cocotier au Vanuatu : historique et perspectives. *Journal de la Société des Océanistes*. **(118)** : 11-33.

Labouisse J-P., Sileye T., Morin J-P., Hamelin C., Baudouin L., Bourdeix R. et Rouzière A. (2004 b). Coconut (*Cocos nucifera* L.) genetic improvement in Vanuatu: overview of research achievements from 1962 to 2002. Part I: Improvement of Vanuatu Tall by mass selection. *OCL*, **11** (4-5) : 354-361.

Lamanda N. (2001). Analyse de systèmes d'activités à base cocotier sur l'île d'Espirito Santo (Vanuatu). Rapport de DESS Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales. Université Paris XII, Créteil : 61 pp + annexes.

Lamanda N., Malezieux E, Martin P (2004). Organisation spatiale et dynamiques des systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) dans une île mélanésienne. *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*. **13**, n°6 : 459-66.

Lawson T.L. and Kang B.T. (1990). Yield of maize and cowpea in alley cropping system in relation to available light. *Agricultural and Forest Meteorology*. **52** : 347-357.

Lebot V. et Siméoni P. (1999). La diversification agricole en Océanie : peut-on faire du nouveau avec de l'ancien ? *JATBA, Revue d'ethnobiologie*. **41** (1) : 13-22.

Lelong C.D, Lesponne C.D., Lamanda N., Lainé G.H.L., Malézieux E. (2004). Understanding the spatial structure of agroforestry systems using very high resolution remote sensing: an application to coconut-based systems in Melanesia. Poster presented to the 1st World Congress of Agroforestry. Orlando, USA, 27 June - 2 July 2004.

Lesponne C. (2003). Caractérisation par télédétection très haute résolution des paysages agroforestiers associés aux cocoteraies sur l'île de Malo (Vanuatu). Rapport de stage Maîtrise de Science et Techniques de Cartographie, Université d'Orléans : 28 pp.+ annexes.

Limier F. (1988). Le Profil : une approche graphique et quantifiée de l'architecture et de l'écologie en forêts et agroforêts tropicales. Rapport de DEA Botanique Tropical Appliquée Université Montpellier II : 61 pp.

Ludwig B., Khanna P.K., Bauhus J. and Hopman P. (2002). Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *Forest Ecology and Management*. **171** : 121-132.

Mandal R.C. (1991) Coconut production and protection technology. Bikaner : Agro Botanical Publishers, 168 pp.

Mahindapala R. and Pinto J.L. (1991). Coconut cultivation. CRI, Lunuwila, 162 pp.

Manu V. T. and Halavatau S. (1995). Agroforestry in Food production Systems in the South Pacific. In : Foale *et al.* (eds.). Soil organic matter management for sustainable agriculture. ACIAR Proceedings, Canberra. n° 56 : 63-68.

Martin G. (1977). Préparation et conditionnement des échantillons pour le diagnostic foliaire du palmier à huile et du cocotier. Oléagineux. 32 (3) : 95-99.

Martens H. and Naes T. (1989). Multivariate calibration. John Wiley and Sons. 419 pp.

Marty G., Le Guen V. and Fournial T. (1986). Effets des dépressions cycloniques sur les plantations de cocotiers au Vanuatu. Oléagineux. 41 (2) : 63-69.

Mary F. (1995). Guide d'Aide à la décision en Agroforesterie. Tome 2 : Fiches Techniques. Collection : Le point sur. GRET ed., Paris : 284 pp.

Massonnet C. (2004) Variabilité architecturale et fonctionnelle du système aérien chez le pommier (*Malus x domestica* Borkh.) : comparaison de quatre cultivars par une approche de modélisation structure-fonction. Thèse de doctorat Université Montpellier II, 184pp.

Mc Gregor A. (1999a). Land use profiles: Coconuts. Port Vila, AUSAID Vanuatu Land Use Planning Project. 41 pp.

Mc Gregor A. (1999b). Land use profiles: Root crops and self-sufficiency farming systems. Port Vila, AUSAID Vanuatu Land Use Planning Project. 44 pp.

Méndez V.E., Lok R., Somarriba E. (2001). Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socio economic importance. Agroforestry Systems 51 (2) : 85-96.

Meynard J., Doré T., et Habib R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. CR Acad. Agric: 183-193.

Mialet-Serra I, Dauzat J and Auclair D. (2001). Using plant architectural models for estimation of radiation transfer in a coconut-based agroforestry system. Agroforestry systems. 53: 141-149.

Michon G., Bompard J., Hecketsweiler P. et Ducatillion C. (1983). Tropical forest architectural analysis as applied to agroforests in the humid tropics: The example of traditional village-agroforests in West Java. Agroforestry Systems. 1 (2) : 117-129.

Millat-E-Mustafa M. D., Hall J. B. and Teklehaimanot Z. (1996). Structure and floristic of Bangladesh homegardens. Agroforestry Systems. 33 : 263-280.

Mondain Monval J.F. (1993). Diagnostic rapide pour le développement agricole. GRET ed, (Point sur les technologies), Paris: 128 pp.

Morelli C. (2003). Evaluation des performances agronomiques des jardins au Vanuatu. Estimation de leur durabilité agroécologique et proposition d'intensification par association aux cocoteraies. Mémoire de DAA Sol et Aménagement Rural ENSAR, Rennes : 57 pp + annexes.

Morelli C, Lamanda N and Lebot V. (2005, in preparation for Agroforestry Systems). Evaluation of food gardens performances in Malo, Vanuatu using a method for measuring yields in multi-species systems.

Mou P., Mitchell R.J. and Jones R.H. (1997). Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment. *Journal-of-Applied-Ecology*. **34** (3) : 645-656.

Mulia R. and Dupraz C. (2005, en préparation pour Plant and Soil) Unusual 3D fine root distributions of two deciduous tree species observed in Southern France : what consequences for root dynamics modelling ?

Nair P.K.R. (1979). Intensive Multiple Cropping with Coconuts in India. Parey eds., Berlin: 147 pp.

Nair P.K.R. (1983). Agroforestry with coconuts and other tropical plantation crops. In: Huxley P.A.(ed.). Plant Research and Agroforestry. ICRAF, Nairobi : 79-102.

Nair P.K.R. (ed.) (1993). An introduction to Agroforestry. Kluwer, Dordrecht : 499 pp.

Nair P.K.R. (2001). Do tropical homegardens elude science, or is it the other way around?" *Agroforestry Systems* **53** (2) : 239-245.

Nelliat E.V., Bavappa K.V. and Nair P.K.R. (1974). Multi storeyed cropping. A new dimension of multiple cropping in coconut plantations. *World Crops*. **26** : 262-266.

Nesme T., Lescourret F., Bellon S., Plénet D. and Habib R. (2003). Relevance of orchard design issuing from growers' planting choices to study fruit tree cropping systems. *Agronomie* **23** : 651-660.

Norman J.M. and Welles J.M. (1983) Radiative transfer in an array of canopies. *Agronomy Journal*. **75** : 481-488.

Ochs R. (1985). Stratégie de mise en œuvre du contrôle nutritionnel des plantes pérennes. Gestion de la nutrition minérale - Programmation des fumures. *Oléagineux* **40** (12) : 583-594.

Ochs R. et Bonneau X. (1991). Rapport de mission à RSUP (Indonésie), CIRAD - CP : 3-6.

Oldeman R. (1974). L'architecture de la forêt guyanaise. Mémoire de l'ORSTOM, Paris. n°73: 204 pp.

Olivin J. (1980) Relation entre l'écologie et l'agriculture de plantation. Synthèse des travaux effectués par l'I.R.H.O et l'O.R.S.T.O.M. *Oléagineux*. **35** (2) : 65-78.

Ollagnier M, Lauzeral A., Olivin J. et Ochs R. (1978). Evolution des sols sous palmeraie après défrichement de la forêt. *Oléagineux*. **33** (11) : 537-547.

Ollivier J., Akus W. et Bonneau X. (2000). Impact économique de différents scénarios de replantation de vieille cocoteraie. *OCL*. **7** (2) : 197-202.

Ong C.K. and Black C.R. (1994). Complementary in resource use in intercropping and agroforestry systems. In : Montheith J. L., Scotte R. K. and Unsworth M. H. (eds.). *Ressources Capture by Crops*. Nottingham University Press, Loughborough : 255-278.

- Ong C. K., Corlett J. E., Sing R.P. and Black C.R. (1991). Above and below ground interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* (45) : 45-57.
- Opio F. (1999). Coconut-based farming systems in the Pacific. In : Ohler J. G. (ed.). *Coconut Modern coconut management: palm cultivation and products*. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome : 261-276.
- Papy F. (2001). Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation. In : Malézieux E., Trébuil G. and Jaeger M. (eds). *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*. CIRAD INRA, Montpellier : 51-75.
- Parveaud C.E. (2002). Elaboration de plantes virtuelles tridimensionnelles de noyers hybrides et simulation du bilan radiatif. *Mémoire DEA : Ecologie Paris 7*. 40 pp + annexes.
- Pagès L., Asseng S., Pellerin S. and Diggle A. (2000) Modelling Root System Growth and Architecture. In : Smit A.L., Benough A.G., Engels, C., van Noordwijk M., Pellerin, S. and van de Geijn S.C (eds). *Root Methods. A Handbook*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg : 133-146.
- Penot E. (2001). Stratégies paysannes et évolution des savoirs : l'hévéaculture agro-forestière indonésienne . Thèse de Doctorat en Economie du développement agricole, agro-alimentaire et rural. Université de Montpellier I. - 2 vol : 364 pp.+ annexes et 171 pp.
- Pieri C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. CIRAD-IRAT: Montpellier : 444 pp.
- Pickett S.T.A. (1991). Space for time substitution as an alternative to long-term studies. In : Likens G.E. (ed.) : *Long term Studies in Ecology, Approachs and Alternatives*. Springer-Verlag, New York : pp 111-135.
- Pomier M. et de Taffin G. (1982). Etude de la fertilisation et de la régénération des sols dans le cas d'une replantation de cocotiers. *Oléagineux*. 37 (10) : 455-461.
- Quantin P. (1982). Carte des potentialités agronomiques et des aptitudes culturelles du Vanuatu. Notice explicative. Vanuatu Agronomic Potential Land Use Maps. Explanatory Notes. ORSTOM. (eds.). Paris (France) : 37pp.
- Raintree J.B. (1989). La "D and D" : manuel de l'utilisateur. La méthodologie de diagnostic et conception en agroforesterie. Nairobi : ICRAF, 125 pp.
- Ramadasan, K., Abdullah I., Teoh K.C., Vanialingam T. and Chan E. (1978). Intercropping coconuts with cocoa in Malaysia. *Planter*. 54 (627) : 329-341.
- Rao M.R. and Coe D. (1991). Measuring crops yields in on-farm agroforestry studies. *Agroforestry Systems*. 15 : 275-289.
- Rao M.R., Muraya P., and Huxley P.A. (1993). Observations of some tree root systems in agroforestry intercrop situations, and their graphical representation. *Experimental Agriculture*. 29 : 183-194.
- Rao M.R., Nair P.K.R. and Ong C.K. (1998). Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 38 : 3-50.

Raveendran T.S., Vijayaraghaven H. and Ramachandran T.K. (1989). Some physiological aspects and production trends of certain coconut hybrids and their parents. *CoCos*. 7 : 36-41.

Ribier V. et Rouzière A. (2000). Replantations des cocoteraies : mythe ou réalité ? *OCL*. 7 (2) : 182-188.

Rimmington G.M. (1984). A model of the effect of interspecies competition for light on dry matter production. *Australian Journal of Plant Physiology*. 11 : 277-286.

Robbez Masson J-M. (1994). Reconnaissance et délimitation de motifs d'organisation spatiale - Application à la cartographie des pédopaysages. Thèse de Doctorat de l'ENSAM, Montpellier : 161 pp.+ annexes.

Roupsard O., Lamanda N., Joffre R., Bonnefond JM., Nouvellon Y., Berbigier P., Jourdan C., Epron D., Mialet-Serra I., Taga S., Sileye T, Hamel O., Rouzière A et Bouillet JP. (2004). Séquestration de Carbone par des plantations de cocotiers au Vanuatu. Assises de la recherche Française dans le Pacifique (ARFP 2004). Nouméa, 24-27 août 2004. Poster + Summary in Presentation Abstracts : p 223

Sanchez P. A. (1995). Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. 30 : 5-55.

Sanchez P.A., Palm C.A, Davey C.B., Szott L.T. and Russell C.E. (1985). Trees as soil improvers in the humid tropics ? In : Cannell M.G.R., and Jackson J.E. (eds). *Attributes of Trees as Crops Plants*. Institute of Terrestrial Ecology (NERC), Abbots Ripton : 327-358.

Sansonens B. (1996). Agroforetrie indigène en Asie tropicale humide : structure et dynamique. Analyse comparée de deux études de cas. Eidgenoessische Forschungsanstalt fuer Wald (Mitteilungen der Eidgenoessischen Forschungsanstalt fuer Wald, Schnee und Landschaft), Birmensdorf : 207 pp.

Satyabalan K., Mathew J. and Radhakrishnan V. (1972). Yield variation and its relationship with age and growth of underplanted coconut palms. *Oléagineux*. 27 (5) : 257-259.

Satyabalan K. (ed.) (1993). *The Coconut Palm: Botany & Breeding*. APCC, Jakarta : 214pp.

Schütz J-P. (1997). Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Collection Gérer l'Environnement. Presses Universitaire Romandes, Lausanne : 190 pp.

Sebillotte M. (1974). Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cahier ORSTOM - Série Biologie (24) : 3-25.

Sen N.L., Kikani K.P., Ughreja P.P., Valia, R.Z. (1983) Root zone studies in coconut (*Cocos nucifera* L.) under Gujarat conditions. *Indian Coconut Journal* (May 1983) : 6-8.

Schroth G., Lehman J., Rodrigues M.R., Barros, E. and Macedo, V. (2001). Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics." *Agroforestry Systems*. 53 : 85-102.

Schroth G., Vanlauwe B. and Lehmann J. (2003). Soil Organic Matter. In: Schroth G. and Sinclair F.L. (eds). *Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods*. CAB International, Wallingford : 77-91.

Sheer S.J. (1991). On-farm research: the challenges of agroforestry. *Agroforestry Systems*. **15** : 95-110.

Shenk JS and Westerhaus M.O. 1991. ISI NIRS-2. Software for near infrared instruments. Infrasoftware International. 147 p.

Shepherd K.D. and Walsh M.G. (2002). Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society America*. **66** : 988-998.

Silva M.A.T. and Abeywardena, V. (1970) Leaf growth in relation to age and the bearing status of coconut palms. *Ceylon Coconut Planters' Review*. **6** (2) : 59-62

Sinoquet H. et Bonhomme R. (1992) Modelling radiative transfer within mixed and row intercropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*. **62** : 29-240.

Sinoquet H. (1993) Modelling radiative transfer in heterogeneous canopies and intercropping systems. In: Sinoquet H., Bonhomme R., Varlet-Grancher C. Crop structure and light microclimate. INRA eds, Paris : 229-252.

Sinoquet H. and Caldwell R.M. (1995). Estimating of light capture and partitioning in intercropping systems. In: Sinoquet H and Cruz P. (eds) *Ecophysiology of tropical intercropping*. INRA eds, Paris : 79-98.

Srinivasa R. D.V., Upadhyay A.K., Gopalasundaram P., Hameed Khan H (2002). Response of high yielding coconut variety and hybrids to fertilization under rainfed and irrigated conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (**62**) : 131-138.

Szabolcs I. (1994). The concept of soil resilience. In : D.J. Greenland and I. Szabolcs (eds) *Soil resilience and Sustainable Land Use* : 33-39.

Tixier P. (2004). Conception assistée par modèle de systèmes de culture durables : application aux systèmes bananiers de Guadeloupe. UMR SYSTEM. Montpellier, ENSAM - Université Montpellier II : 233 pp.

Torquebiau E.F. (1992). Are Tropical Agroforestry Home gardens sustainable ?" *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (**41**) : 189-207.

Torquebiau E.F. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie*. **323** : 1009-1017.

Torquebiau E. and Penot E. (2004) Ecology versus Economics in Tropical Agroforestry Homegarden Management. University of Florida IFAS (ed). 1st World Congress of Agroforestry - Working together for sustainable land use systems - Book of Abstracts: 135.

Trenbath B.R. (1999). Multispecies cropping systems in India. Prediction of their productivity, stability, resilience and ecological sustainability. *Agroforestry Systems*. **45** : 81:107.

Varlet-Grancher C., Gosse G., Chartier M., Sinoquet H., Bonhomme R., Allirand J.M. (1989). Mise au point : rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*. **9** (5) : 419-439.

Vandermer J. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, 237 pp.

van Noordwijk M., Lawson G., Soumaré A., Groot J.J.R. and Harriah K. (1996) Root distribution of trees and crops: competition and/or complementary. In: Ong C.K. and Huxley P.A. (eds). *Trees Crops Interactions: A Physiological Approach*. CAB International, Wallingford : 319-364 pp.

van Noordwijk M., Hairiah K., Lusiana B. and Cadisch G. (1998). Tree-Soil-Crop Interactions in Sequential and Simultaneous Agroforestry Systems. In: Bergström L. and Kirchmann H. (eds). *Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems*. CAB International, New York : 173-190

Velasquez E., Lavelle P. Barrios E., Joffre R. and Reversat F. (2005). Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. *Soil Biology and Biochemistry*. **37** : 889-898.

Vidhana A.L.P. and Liyanage M.D. (1998). Soil physical conditions and root growth in coconut plantations interplanted with nitrogen fixing trees in Sri Lanka. *Agroforestry Systems*. **39** (3) : 305-318.

VSO (1994). *Vanuatu National Agriculture Census. Main Report*. Vanuatu Statistics Office Port Vila : 190 pp.

VSO (1999). *Vanuatu household income and expenditure survey. tabulation report*. Vanuatu Statistics Office, Port-Vila : 18 pp + tableaux.

VSO (2000). *Vanuatu 2000 Labour Market Survey Report*. Vanuatu Statistics Office, Port-Vila : 64 pp.

Walter A. (1989). Notes sur les cultivars d'arbre à pain dans le Nord du Vanuatu. *Journal de la Société des Océanistes* : 3-18.

Walter A. and Sam C (1999). *Fruits d'Océanie*. IRD (eds) Paris: 310 pp.

Walter A., Lebot V et Sam C. (2003). *Les Jardins d'Océanie*. IRD (eds) Paris : 326 pp.

Wang Y.P. and Jarvis P.G. (1990). Description and validation of an array model. MAESTRO. *Agricultural and Forest Meteorology*. **51** : 257-280.

Weightman B. (1989). *Agriculture in Vanuatu. An Historical Review*. The British Friends of Vanuatu, Cheam : 320 pp.

Welegtabit S.R. (2001). *Food security strategies for Vanuatu, Bogor, Indonesia*, CGPRT Centre.

Wheatley J.I. (1992). *A Guide to the Common Trees of Vanuatu with list of their traditional uses & ni-vanuatu names*. Vanuatu's Department of Forestry, Port Vila: 308 pp.

Wu L. and Zhou B. (1992). Tree shadow in agoforestry. Abstracts of symposium papers and posters presented at the Internaional Agroforestry Symposium, Nanjing, China.

Annexes

Annexe 1 :
Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens
(synthèse bibliographique)

Ce document a pour objectif de présenter rapidement les caractéristiques des jardins mélanésiens, à travers une analyse bibliographique. Après avoir montré les particularités de cette forme d'agriculture et présenté les différents types de jardins, on esquissera un schéma de fonctionnement général des jardins mélanésiens de type semi-itinérant. Ce schéma pourra alors servir de base de réflexion pour la mise en place d'une méthode de caractérisation et d'évaluation de leurs performances agronomiques.

1) La « végéculture » : une horticulture semi-itinérante comme mode d'exploitation du milieu.

Les jardins mélanésiens sont un mode d'exploitation du milieu décrit comme horticulture itinérante sur brûlis avec de longs cycles de jachères (Bonnemaison 1996 : p 240). Barrau parle d'une agriculture semi-itinérante ou « bush fallowing rotation », lorsque à chaque décade environ le jardin revient sur la même parcelle (après un parcours sur une superficie définie et limitée) (Barrau 1955 p : 39).

Ce type d'exploitation du milieu représente une des étapes du processus de spécialisation de la cueillette aboutissant à la domestication et la culture des végétaux. Braidwood et Reed (1957, cité in Barrau p 10) proposent pour décrire cette étape, le terme de végéculture. La végéculture concerne l'association de plantes à multiplication végétative exclusive, des plantes à racines et tubercules mais aussi des bananiers (Sauer, 1969). Ce terme permet de caractériser un système mixte comprenant cueillette spécialisée et amorce de culture des plantes, ce système s'insérant dans le processus de la domestication des végétaux entre une phase de cueillette spécialisée et une agriculture naissante. (Barrau ? :p 10).

Barrau illustre bien ce processus et sa description du mode de culture du jardin mélanésien permet déjà d'en saisir les spécificités :

« L'homme se contenta d'abord de déterrer des tubercules comestibles de plantes sauvages ; accidentellement il favorisa leur multiplication puis en vint à protéger les peuplements végétaux naturels qu'il exploitait et dont il aidait l'extension. Il en arriva donc à faciliter délibérément la multiplication et la croissance de ces plantes pour finalement copier la nature et les bouturer lui-même. Ce processus l'amena à accorder à chacune des plantes qu'il protégeait ainsi une attention individuelle : mise en terre de chaque bouture dans un trou ouvert au pieu, récolte des tubercules plantes par plantes, choix attentif de chaque emplacement à planter, protection et aide accordées à chacune des plantes... Tout ceci donna naissance à une véritable horticulture et à cette « amitié » (Haudricourt, 1952, in Barrau) d'homme à plante caractéristique du jardinage océanien, héritier probable d'une des plus anciennes formes de cultures des plantes (Barrau ? : p 11 ; le soulignement a été ajouté) »

Cette forme d'exploitation du milieu, peut-être parce qu'elle échappait aux systèmes de références des agronomes (le champs cultivé) a été peu étudiée par ceux-ci (à l'exception des importants travaux de Barrau et de Weightman). Weightman souligne également le caractère typiquement horticole de ces systèmes de culture en mentionnant l'attention accordée de façon individuelle à chaque plante et le peu, voire l'absence, de travail du sol hormis pour la culture de tubercules à vocation rituelle (Weightman 1989 : p 31). Il présente les jardins comme des systèmes associant de nombreuses espèces dont les caractéristiques se complètent pour une utilisation optimale du milieu (Weightman 1989 : p 61).



Le choix des espèces cultivées répond à un ensemble de déterminants dépassant les seules considérations écologiques; Bonnemaïson parle de déterminants éco-culturels (Bonnemaïson 1996 : p 262). En effet, une des caractéristique essentielle du système de production mélanésien est, la dimension sociale et politique du jardin ayant évoluée avec l'apparition de nouvelles valeurs, sa vocation à la fois sociale et politique, tout autant qu'alimentaire (Weightman 1989 : p 31). Du fait de l'importance de l'acte agricole dans la culture mélanésienne les géographes et les anthropologues s' y sont plus particulièrement intéressés.

2) Diversité des jardins mélanésiens :

Barrau et Kirch et les Océanistes en général, distinguent deux grands types de jardins, les « jardins secs », et les « jardins humides » (Leplaideur 1999 : p 24).

Les premiers sont des jardins sur défriche-brûlis (cultivés entre 1 et 3 années, avec de plus ou moins longues période de jachère arborée) les seconds des jardins irrigués (Walter and Lebot 2002 : p 10) dont les tarodières irriguées sont l'illustration exemplaire. Les infrastructures mises en places, fixent ce type jardin dans l'espace et celui-ci peut être cultivé en continu. On pourrait alors quasiment parler de jardins itinérants (ou semi-sédentaires) et de jardins permanents. On s'intéresse ici au premier type de jardin.

Le type même de la culture sur défriche brûlis est celui de l'igname, l'une des deux plantes rituelles du Vanuatu avec le taro (Walter and Lebot 2002 : p 10). Cette forme de culture concerne également le taro (jardin de taro pluvial) ainsi que tout une palette d'autres plantes. Il existe donc une grande diversité de jardins mélanésiens sur défriche-brûlis. On les distinguent selon leur position dans l'espace et/ou selon la plante principale cultivée à l'intérieur et/ ou encore la finalité de la production.

Selon leur position dans l'espace, on différencie les jardins de case (jardins de maison (Greindl 2000 : p 91), *laloakau* à Wallis et Futuna (Leplaideur 1999 : p 20)), des autres jardins, situés plus loin, leur nom précise alors la zone dans laquelle ils sont installés (garren long solwota, garren long hill, etc.). Greindl propose une typologie des jardins selon leur position dans l'espace : les jardins de case, les jardins vivriers intra-urbains, péri-urbain, extra-urbain ou ruraux (Greindl 2000 : p 218). Parmi les jardins ruraux, à Fanafo (Santo) elle distingue trois types de jardins, les jardins de case, les jardins vivriers traditionnels ou organisés (patch de culture) et les jardins à vocation commerciale (plantation en monoculture ou en association) (Greindl 2000 : p 91-92). Sur l'île de Malo, Allen distingue 3 types de jardins selon les principales plantes qui y sont cultivées et la finalité de la production : deux types de jardins selon les ignames qui y sont cultivés ; les jardins *alolona* (*Discorea alata*), *seremalavo* (*D. numularia*, marou essentiellement), et un dernier type pour désigner les jardins dont l'essentiel de la production (diversifiée) sera commercialisée (Allen 2001 : p 65).

L'organisation des plantes à l'intérieur de ses jardins est très variable, suivant les types de jardins, les choix culturel et personnel des agriculteurs.

Greindl note cinq grand type d'organisation, le type vivrier traditionnel sans ségrégation des plantes, le types vivrier traditionnel avec ségrégation des plantes, la monoculture vivrière (en ligne ou carré individualisé à l'intérieur du jardin), le potager (quelques espèces cultivées près de la maison) et les plantations commerciales (une ou deux espèces cultivées en rang) (Greindl 2000 p : 218).

3) « planty styles .bé wan fassem » : principe de fonctionnement du jardin mélanésien

A la différence, par exemple de l'agriculture Yali où le nom des jardins est lié aux modes de préparation du sol (Boissière 1999 : p 141), le nom du jardin mélanésien est lié à celui de la plante principale qui y est cultivée (Billonneau? p : 153). Les techniques de préparation et de cultures mises en œuvres semblent quasi-similaires quelque soit le type de jardin. Il semble donc possible, bien que ceux -ci, soient très variés, de dégager les principes d'un fonctionnement général du jardin mélanésien.

3.1 Principe général de fonctionnement (itinéraire technique) du jardin mélanésien.

Quelque soit le jardin, on retrouve toujours trois grandes phases: (1) l'installation (choix du terrain, débroussage - brûlis, plantation), (2) la culture proprement dite puis (3) le retour à la jachère ; ou pour reprendre le principe de « bush fallowing rotation » déjà présenté par Barrau en 1955 ; 1) l'ouverture du jardin, 2) son utilisation pendant environ une année puis 3) son abandon progressif et le retour à la jachère (les premières années de jachères certains aliments sont encore récoltés) (Barrau 1955 : p 28).

La durée moyenne de la jachère sur l'archipel a été estimée de 7 ans (Bourke 1999 :p 9), de grandes différences existants néanmoins d'un contexte à l'autre (durée s'échelonnant entre 1 et 30 ans). La durée de culture d'un jardin est en moyenne de 3 à 4 ans.. Le système « jardin mélanésien » fonctionne donc sur le pas de temps d'une dizaine d'année, c'est un jardin semi-sédentaire. En annexe le tableau 1 rassemble des temps de jachères et de culture pour différents types de jardins mélanésiens. Des schémas, relevés dans la bibliographie, représentant des exemples de parcours de jardins sont également présentés en annexe.

Chaque famille ouvre chaque année entre 2 et 3 parcelles de jardins (Mac Gregor, 1999b, p 15) pour gérer les risques climatiques et maintenir actifs ses droits sur le foncier (Walter et Lebot, 2002 p 11). Avec une durée de jachère de l'ordre d'une dizaine d'années, le système nécessite pour fonctionner une superficie de parcours de 1 à 2 hectares (Barrau, 1955 : p 125). Chaque famille gère donc un ensemble de parcelles de jardin, à différents stades d'évolution. Les jardins les plus récemment ouverts sont les plus visités.

Weightman illustre la variabilité du nombre de jardins ouverts à travers différents contextes insulaires du Vanuatu (Weightman, 1989 p 47). Notons que le travail sur le jardin est réalisé par la famille nucléaire (Weightman, 1989, p 50), hormis les travaux de débroussage pour lesquels il est souvent fait appel à une aide extérieure (famille élargie et/ou d'amis). Barrau souligne le comportement individualiste des paysans mélanésiens, encore renforcé avec le développement de l'agriculture commerciale. (Barrau, 1955 : p 9).

L'installation du jardin est dictée par l'horloge biologique des ignames. Seule plante à saisonnalité marquée, du fait de la dormance de ces semences entre avril et septembre (ref), et de leurs exigences en sols riches (Walter and Lebot 2002 : p 10) elles sont la tête d'assolement et le chef d'orchestre du système (Weightman 1989 : p 43).

En témoigne les calendriers traditionnels basés en particulier sur le développement des ignames (relevés à Malikula (Weightman 1989 : p 43) Pentecôte, (Siméoni 1997 : p 61) ; à Fanafo (Tortel 1998 : p 97; Greindl 2000p : 88), aux Banks (Caillon 2002 : p 3) à Malo (terrain en cours NL, 2002))

La préparation du jardin a lieu lors de la période plus fraîche (juillet-septembre). Weightman illustre la diversité existant au niveau de préparation des jardins à travers l'archipel (Weightman, 1989 : p 43).

Chaque famille prépare une parcelle dont la surface est de l'ordre du quart d'hectare, avec une tendance à la diminution de cette superficie. (V. Lebot, com. pers, Mac Gregor, 1999b, p 16). En annexe, le tableau 2 présente quelques données sur la superficie de différents jardins mélanésiens relevées dans la bibliographie.

Chaque parcelle, choisie selon l'aspect de sa végétation secondaire est débroussaillé et nettoyée afin de laisser le sol aussi propre que possible : les gros arbres sont abattus ou laissées en place pour servir de tuteur aux ignames, les broussailles sont coupées à la machette puis réunies en petits tas autour de la parcelle, ou aux pieds des gros arbres sur la parcelle. (Walter and Lebot 2002 : p 11). Une fois que la végétation est sèche, le sol de la parcelle est nettoyé, puis brûlés. Allen a décrit les critères de choix pour l'installation de la parcelle et différentes technique de brûlis de la végétation sur l'île de Malo (Allen 2001 : p 66-72)

Une fois la parcelle préparée, on entre dans la phase de culture du jardin.

On se rend au jardin, une fois celui-ci installé en moyenne 1 à 2 fois par semaine (variable selon les types de jardins, leurs distance, la réalisation d'autres activités concurrentielles et les aléas climatiques).

En gardant à l'esprit les spécificités des plantes à racines et tubercule : absence de saisonnalité, multiplication végétative, on comprend alors que toutes les opérations culturales (plantation, désherbage, récolte) peuvent être réalisées simultanément pour l'ensemble des plantes cultivées dans le jardin. Chaque passage est ainsi l'occasion d'une récolte, d'un désherbage et les cormes ou tubercules récoltés sont directement replantés. Le travail du sol est minime, il correspond à un fouissage au pieu localisé à l'emplacement à planter (Barrau 1955 : p 28 ; Weightman, 1989 : p 51 ; Walter et Lebot, 2002, p 10). Le travail effectivement réalisé sur la parcelle dépend donc du nombre de plantes que l'exploitant décide d'y installer et de l'attention qu'il portera à chacune.

C'est l'optimisation de la journée de travail sur le jardin, qui donne sa rationalité et sa cohérence à la conduite du jardin mélanésien (V. Lebot, com. pers.).

Au cours de la première culture d'ignames, le jardin est progressivement enrichi. Les autres espèces prennent place en périphérie du jardin et/ou entre les pieds d'ignames, installé au centre de la parcelle.

La diversification du jardin mélanésien représente une stratégie anti-risque (Walter, Greindl et al. 1999 p 50- 51).

8-10 mois après l'ouverture du jardin, lors de la première récolte des ignames, la diversité inter spécifique du jardin est maximale. Une moyenne de 11 espèces par jardin a été relevé dans les jardins de Fanafo (Santo) (Greindl 2000 : p 92), 24 espèces végétales et 5 arbres fruitiers pour les jardins urbains autour de Luganville (Greindl 2000 p : 220).

Cette diversité de plantes, installée au cours de la saison pluvieuse et chaude permet une couverture du sol quasi totale en moins d'une année. A Pentecôte, la couverture du sol est de 80 % en 7 mois (Billonneau ? : p 155). Ceci permet de limiter le développement des espèces adventices et de multiplier les formes de résistance aux parasites et ravageurs. D'autre part, l'adoption de plantes rustiques (certaines espèces d'ignames telle que *Discorea esculenta*, *D. rotundata*, ou du manioc, du macabo, et de la patate douce), le choix des dates de plantations en fonction de la longueur des cycles de culture (ignames et taro à cycles longs plantés en

hivers afin d'être récoltés en hivers, par exemple) participent à la gestion du risque cyclonique, particulièrement important au Vanuatu (Walter, Greindl et al. 1999 : p 51).

Après la première récolte des ignames (vers avril-mai selon les variétés, les espèces et leurs dates respectives de plantation), la diversité inter-spécifique se réduit, le jardin est récolté peu à peu, et s'enrichit en espèces plus rustiques.

Après 18 mois, la majorité des plantes du jardin ont été récoltées, et celui-ci retourne progressivement à la jachère. Une partie des plantes secondaires du jardin peut donc être considérée comme des plantes de jachère, en particulier les bananiers (jusqu'alors plante de périphérie, sa culture est ensuite étendue sur l'ensemble de la parcelle (Bonnemaison 1996 : p 256)), le macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), le manioc (*Manihot utilissima*) et la patate douce (*Ipomoea batatas*) peuvent poursuivre leurs croissance en peuplements permanents dans lesquels on viendra puiser à volonté lorsque nécessaire.

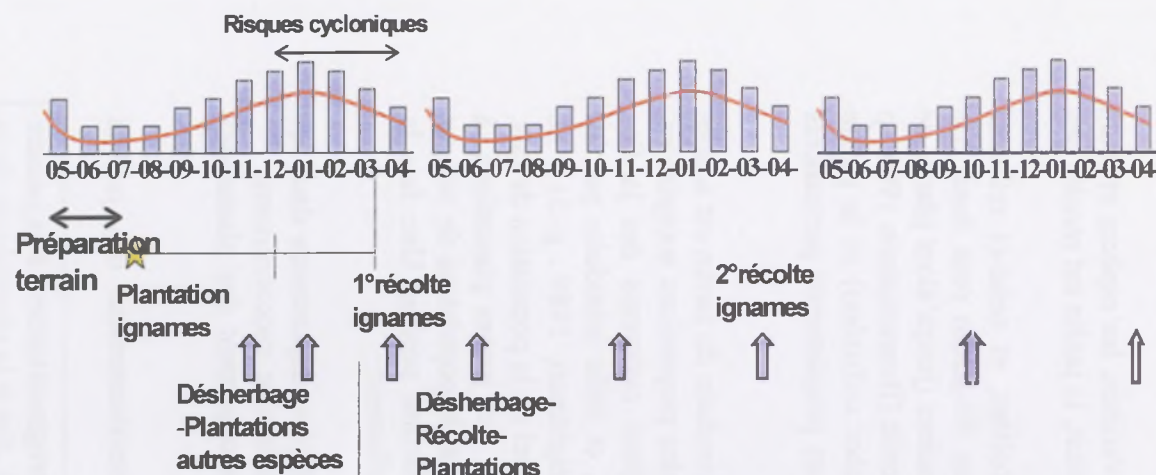
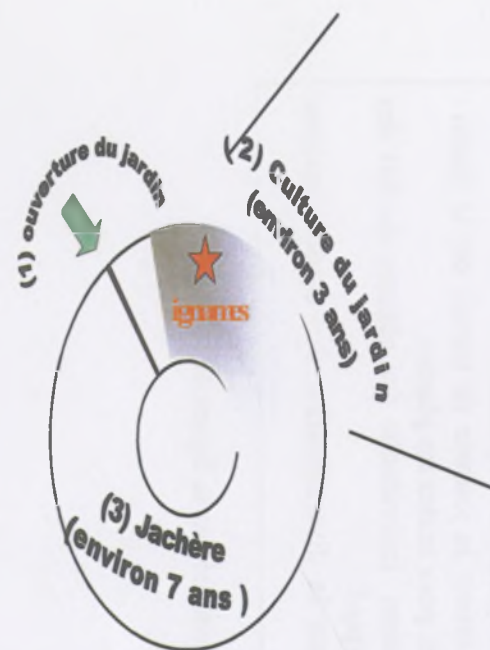
Il est important de remarquer, avec Weightman, que le mode de conduite du jardin est adapté au contrôle de son état sanitaire, permettant de maintenir dans des proportions acceptables, les dégâts causées par les parasites et ravageurs. Les principaux ravageurs des jardins mélanésiens sont les rats (l'espèce endémique, *Rattus exulans*, et celle introduite par les Européens, *Ratus rattus*) et le scarabée : *Papuana beetle* (Weightman, 1989 : p 51). Le nettoyage et le brûlis de la parcelle éliminent efficacement l'essentiel de la population de rats. La repopulation est trop tardive pour porter une atteinte sérieuse aux jeunes plantations (à l'exception des celles situées en bordure). Au moment de la récolte, la population de rats est encore relativement limitée, ce qui restreint la part de la production perdue. Une fois la parcelles remise en jachère, la population de rats se stabilise naturellement.

Notons cependant, que les pertes dues aux attaques de rats sont plus importantes dans les petites îles (Weightman, 1989 : p 51) et lorsque les périodes de jachères se raccourcissent. Les évolutions de l'agriculture vivrière, en rapport avec le développement des plantations commerciales seront abordées ailleurs.

Les points suivants doivent être retenus comme clés du fonctionnement des jardins mélanésiens:

- après ouverture, le jardin est cultivé 1 à 3 années puis retourne progressivement à la jachère
- les ignames (surtout *Dioscorea alata*) du fait de leur saisonnalité, due à la physiologie de la plante (dormance des semences entre mars et juillet) rythment le système.
- l'objectif dans la conduite du système est d'optimiser la journée de travail sur le jardin : toutes les étapes de la culture ont lieu simultanément pour toutes les plantes.
- La conduite des culture est caractérisée une gestion individuelle des plantes, du fait des spécificités de modes de reproduction et de récolte / pied.
- La stratégie de gestion du risque est fondée sur la diversification des espèces/variétés cultivées au sein du jardin.

Le fonctionnement global du jardin mélanésien est résumé par la figure de la page 5



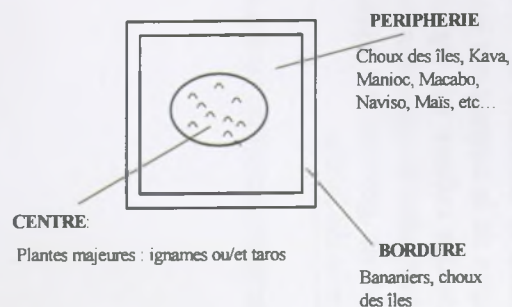
Passages fréquents

Stade où
Diversification
du jardin
maximale

Récolte progressive du jardin
enrichissement en espèce rustiques

Fréquence passage ↘
Diversité (nombre d'espèces cultivées) ↘

Enherbement ↗ -
retour progressif à la
jachère



3.2 Les techniques culturales mises en œuvre.

- ***Les techniques d'ouverture du jardin :***

Le choix du site du nouveau jardin résulte d'un compromis entre des considérations sur le type de sols, les niveaux de fertilité (indiqués par l'aspect de la végétation de la jachère), la topographie et l'exposition du terrain « optimales » et les caractéristiques des terrains disponibles, et notamment selon la distance au lieu d'habitation (Allen, 2001 : p 66).

Les opérations de préparation des jardins sur l'île de Malicollo ont été rapportées en détail dans l'ouvrage de Weightman (Weightman, 1989, p 44-47).

Différentes techniques de défriches, variantes du modèle général décrit plus haut, ont été décrites. Selon les espèces (et/ou variétés) que l'exploitant envisage d'installer dans son jardin, la végétation sera plus ou moins éliminée au moment de l'ouverture du jardin (Allen, 2001 : p 70). Pour la culture des ignames sauvages, le gros de la végétation ne sera nettoyée, qu'après les premiers mois de développement des ignames, ceux-ci se développant mieux avec un ombrage en début de cycle.

Deux modes de débroussaie ont été rapporté à Malo, les arbres peuvent être abattus après avoir été brûlés à leurs bases ou bien laissés en place après un élagage drastique. Dans ce dernier cas, l'arbre sera brûlés plus tard et procure un solide support pour les lianes d'ignames (d'après Allen, 2001 : p 70).

Différentes techniques de brûlis sont également mise en œuvres selon les particularités du terrain, le niveau de nettoyage souhaité de la parcelle et le moment de réalisation de l'opération (d'après Allen, 2001 p 71-72).

Seremele rapporte que, suivant le conseil des techniciens du Service de l'Agriculture, 16 % des agriculteurs enquêtés sur l'île d'Efaté ne brûlent plus les débris végétaux avant de planter leurs parcelles. Le nettoyage est uniquement effectué autour du pied de plantation et les résidus végétaux sont conservés sur le reste de la parcelle, les temps de travaux sur le jardin sont ainsi réduits. De plus, le paillage de la parcelle limite l'enherbement de la parcelle et la décomposition de ce paillage permet un apport de matières organiques.

Une autre « innovation » est rapportée, celui du piétinement de la parcelle par des bovins pour en faciliter le défrichage. Cette technique, effectuée par 8 % des agriculteurs enquêtés permettrait d'éviter les opérations de défrichage et de nettoyage et favoriserait l'enfouissement des résidus de culture. (Seremele 2001 p : 39). Ce type de pratique a également été rapporté après la visite d'un agriculteur de Malo, connu pour son attitude innovatrice (com. pers. de Tari Molisale et Marie Melteras).

- ***les techniques de culture des tubercules:***

1° Le matériel végétal (quantité)

Les plantes cultivées dans les jardins mélanésien sont essentiellement des plantes à racines et tubercules. Elles sont reproduites par multiplication végétative, le matériel végétal planté est donc des propagules plutôt que de réelles semences botaniques (fractions de tubercules, cormes, racines, boutures, rejets etc...)

Selon les finalités de la production de l'agriculteur, la quantité de matériel végétal planté diffère. Ainsi, les semences des tubercules destinées à des usages rituels (coutume, mariages) sont des tubercules entiers, tandis que les tubercules auto consommés et vendus au marché seront obtenus à partir de fragment de semences. (Seremele 2001 p 40). Il existe en effet pour toutes ces plantes, une relation directe entre le poids de la propagule et le rendement final de l'organe souterrain récolté.

2° la plantation et l'entretien des cultures:

Les techniques de plantation des ignames ; différentes selon la finalité de la production, rituelle ou consommation courante, ont largement été décrites (voir par exemple Weightman, 1989 p 71-82).

La plantation des ignames rituelles est réalisée dans de grands trous, de 50 à 60 cm mais dont la profondeur peut dépasser le mètre. Une fois creusé, ce trou est remplis d'un humus superficiel mélangé aux cendres obtenues lors du brûlis, ce mélange tenant lieu d'engrais minéral. Une butte plus ou moins élevée (de 40 cm à plus d'un mètre) est alors construite à partir de terre et de cendres. L'igname de semence est placé au sommet de cette butte. Le développement du tubercule se fera verticalement, vers le bas, dans le trou ainsi préparé (Bonnemaison, 1996 : p 244). Lors d'une plantation pour un usage strictement alimentaire, les trous sont moins profonds, et la hauteur de la butte quand elle existe ne dépasse pas une vingtaine de centimètres (Walter et Lebot, 2002 : p 11).

Aujourd'hui le clivage entre agriculture rituelle et agriculture de subsistance pourrait être remplacé par une opposition entre l'agriculture commerciale et l'agriculture alimentaire. Seremele décrit une méthode commerciale et une méthode traditionnelle (Seremele 2001 p : 41) pour la plantation des ignames. Dans la méthode commerciale, le sol est cassé à la bêche, il est ensuite troué et ameubli, la plantation est plus rapide que dans la méthode traditionnelle, elle s'effectue simplement en enfouissant les semences dans la terre ameublie (Seremele 2001 : p 42).

Ces méthodes de plantations sont reprises pour la plantation des autres plantes à racines et tubercules composant le jardin. Ces plantations sont réalisées lors des désherbages des ignames, de leurs tuteurages, à l'occasion des journées passées au jardin.

Seremele, rapportant les modalités d'entretien des cultures, note une relative homogénéité des pratiques des différents exploitants rencontrés. Il rapporte les fréquences de désherbages suivantes, signalant qu'elles peuvent varier selon l'importance que les exploitants accordent à leurs cultures, la pluviométrie et selon les associations mises en œuvres (d'après Seremele, 2001 : p 46).

Culture (nom français)	Culture (nom latin)	Nombre de désherbage par an
Ignames	<i>Discorea spp.</i>	Trois à quatre
Taro d'eau	<i>Colocasia esculenta</i>	Trois
Taro fidji	<i>Xanthosomas sagittifolium</i>	Deux à Trois
Manioc	<i>Manihot esculenta</i>	Deux à Trois
Patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>	Un à Deux

Un ensemble de tableaux (tableau 3 a) à e)) rassemble les densités de plantations dans les jardins mélanésiens relevées dans la bibliographie. Le tableau 4 présente les durées des cycles de culture et les densités de plantations recommandées par le Service de l'Agriculture (Tari Molisale et Peter Napwatt, 2000) pour les principales espèces cultivées.

• Les rendements évalués pour les plantes cultivés dans les jardins mélanésiens.

Les évaluations de rendement réalisées pour différentes cultures des jardins, principalement pour les ignames et autres tubercules ont été rassemblées dans le tableau 5. Lorsqu'elles étaient explicitées, les méthodes utilisées sont citées.

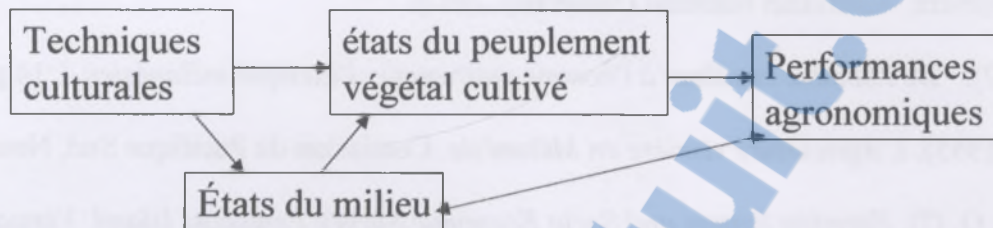
• Les associations de cultures et rotations les plus fréquentes.

Deux tableaux (tableau 6 et 7) rassemblent les descriptions des associations de culture et les rotations relevées dans les jardins mélanésiens. Les schémas d'organisation spatiale des jardins relevés dans la bibliographie sont également présentés en annexe.

Annexe 1 : Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens
(synthèse bibliographique)

4) Evaluer les performances des jardins mélanésiens

L'évaluation des performances d'un système de culture doit passer par l'analyse des relations entre les techniques culturales, les états du milieu et du peuplement végétal cultivé et les performances (rendement) de ce peuplement. (Jouve 1992 p 29). Cette démarche, basée sur l'absence de relation directe entre technique et rendement est devenue classique. Elle est illustrée par la figure ci dessous.



Dans le cas très particulier des jardins mélanésiens, l'évaluation des performances agronomique ne peut pas être envisagée à partir des méthodes classiques des agronomes. Celles ci, ont en effet été établies pour évaluer les performances de peuplement mono spécifique (souvent céréalière) en grande culture, or les performances du jardin mélanésien repose justement sur l'association de plantes, et la diversité aux niveaux inter et intra spécifique.

Une méthode d'analyse des performances agronomiques des jardins mélanésiens devrait donc s'appuyer sur les points suivants :

la productivité du jardin est la somme des productivités de chacune de ses composantes, essentiellement des plantes à racines et tubercules, représentées par diverses espèces et diverses variétés de la même espèce.

- la productivité de chacune des composantes du jardin est la somme des productivités de différentes plants de chaque espèces installées dans le jardin.

L'exploitant raisonne en rendement par pied plutôt qu'en rendement par surface. Ceci pourrait constituer une solide base de dialogue. On pourrait alors estimer, dans un premier temps, la productivité par pied par unité de temps, puis dans un deuxième temps, par espèces/ unité de temps/ surface (compte tenu du nombre de plants de chaque espèces dans le jardin et des densités de plantation). La productivité totale du jardin pourrait alors être déduite d'après la composition floristique du jardin et les productivités établies par espèces/unité de temps/ surfaces.

- la productivité des plantes à racines et tubercules est fonction de la quantité de matériel végétal plantée (poids des semences).

Le relevé de la composition floristique (nombre d'espèces, nombre de représentant par espèces) du jardin sera donc une étape fondamentale dans l'évaluation de la productivité du jardin.

Une méthode d'estimation des rendements par plante, tenant compte de la complexité des situations à évaluer a été proposée (p 46-48, doc expert FAO.). Elle pourra être mobilisée, en complément d'une approche à dire d'agriculteur, pour collecter des données sur la production des principales espèces cultivées dans les jardins.

Pour évaluer les performances des jardins mélanésiens, leur productivité doit être mise en relation avec les états du milieu. Ceux ci devront donc être également caractérisés, les méthodes en cours d'élaboration pour la caractérisation des états du milieu sur les parcelles cocotier pourront être

Annexe 1 : Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens ix
(synthèse bibliographique)

mobilisées. Elles permettraient une caractérisation des états du milieu en terme de taux de salissement (développement adventices, parasites), degrés de compaction du sol (index de facilité de la trouaison), de niveaux de fertilité chimique (pH, teneurs en élément minéraux, matières organiques), etc...).

Références bibliographiques

Allen, M. (2001). *Change and Continuity : Land Use and Agriculture on Malo Island, (Vanuatu)*. Master Thesis - Canberra, Australian National University. 201 p.

Barrau, J. (?). "De l'homme cueilleur à l'homme cultivateur: l'exemple mélanésien." :14 p.

Barrau, J. (1955). *L'Agriculture vivrière en Mélanésie*. Commission du Pacifique Sud, Nouméa, 201 p.

Billonneau, O. (?). *Farming System and Socio Economic Survey Pentecost Island, Vanuatu*. The Management of Slopping Lands in the South Pacific, ISBRAM / Pacific Land. Network. doc n° 15 : 151-165.

Boissière, M. (1999). *La patate douce et l'arachide - Transformation d'une agriculture Yali (Irian Jaya, Indonésie)*. JATBA, Revue d'ethnobiologie. **41** (1) 131-156.

Bonnemaison, J. (1996). *Gens de Pirogues et Gens de la Terre- Les fondements géographiques d'une identité, l'archipel du Vanuatu- Livre 1*. ORSTOM eds, Paris. 460 p.

Bourke, MG. (1999). *Vanuatu Agricultural System Survey*. Rapport prepared for the Land use Office Planning, Port Vila. 31 p. non publié.

Caillon, S. et Chief Eli Field Malau (2002). *Coconuts and Taros from the West Coast of Vanua Lava (Vanuatu): an ethno-agronomic inventory*. 30 p. non publié.

Galipaud, JC., Walter A., et al. (1997). *Forêts Insulaires- Rapport intermédiaire du programme "Se Nourrir à Santo"*. ORSTOM / APFT. 179 p + annexes.

Greindl, D. (2000). *Vivres en villes, des marchés aux jardins sur l'archipel du Vanuatu*. Thèse de l'Université Libre de Bruxelles. 325 p.+ annexes.

Jouve, P. (1992). *Le diagnostic du milieu rural - de la région à la parcelle - Approche systémique des modes d'exploitations agricoles du milieu*. Etudes et travaux du CNEARC, n° 6. 40 p.

Leplaideur, A. (1999). *Wallis et Futuna : une transition agricole- Essai sur l'acte agricole à travers la littérature et deux enquêtes*. CIRAD. 62 p.

Mc Gregor (1999 b) *Land Use Profile: Root Crops and self-sufficiency farming systems*. Vanuatu Land Use Planning- Project June 1999 . 42 p.

Sauer (1969) . *Vegeculture: an horticultural system based on vegetative reproduction of root and tuber crops*. Land and Life. University of California Press, Berkeley.

Harris (1976) : 311-356. In Harlan, de Wet & Stempler (eds) *Origins of African Plant Domestication*, The Hague.

Annexe 1 : Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens
(synthèse bibliographique)

Seremele, T. S. (2001). *Analyse des systèmes de culture Racines et Tubercules : pratiques et stratégies paysanne dans la conduite des cultures et la mise en marché des produits (Ile Efaté- Vanuatu)*, mémoire de fin d'étude CNEARC/CIRAD CA. 75 p.

Siméoni, P. (1997). *Le Repeuplement de la Côte Est de Pentecôte*. Collection Mémoire et Travaux de l'UMR PRODIG, n° 3. Paris. 96 p.

Tortel, V. (1998). *Diagnostic des Systèmes Agraires de Fanafo - Santo, (Vanuatu)*. Rapport de DESS Développement Agricole. Paris 1 Panthéon Sorbonne. 158 p + annexes.

Walter, A., D. Greindl, et al. (1999). *Transformation de la sphère alimentaire au Vanuatu : des moyens nouveaux pour des objectifs identiques*. JATBA, Revue d'ethnobiologie 41(1): 33-59.

Walter, A. and V. Lebot (2002). *Les plantes alimentaires du Vanuatu*. 173 pp.

Weightman, B. (1989). *Agriculture in Vanuatu*. Cheam, UK, The British Friends of Vanuatu. 320 p.



Tableau 1 : Superficies des jardins mélanésien relevées dans la bibliographie.

Superficie (m2/an)	localisation	Estimation par	Références
700 m2	Tanna, Tongoa, Epi, Paama, Ambrym, Malikula et Santo	Donnée moyenne à partir enquêtes rapides n = 215 jardins	Bourke, 1999 : p 10
525 m2	Côte Ouest Malo	Enquêtes de terrain à partir sur un échantillon de 253 jardins (35 maisonnées)	Allen, 2001 p : 92
612 m2	Jardins vivriers Fanafo (Santo)	Enquêtes auprès de 12 familles, 19 jardins vivriers (plus de 4 espèces)	Greindl, 2000 : p 92
456 m2	Jardins à vocation commerciale (plantation) Fanafo (Santo)	enquêtes auprès de 12 familles, 31 plantations (entre 1 & 3 espèces)	Greindl, 2000 : p 92
655 m2	Jardin urbain, Luganville (Santo), tous types confondus	enquêtes n = 70 jardins urbains, avec en moyenne 24 espèces différentes	Greindl, 2000 : p 220
508 m2	Jardins organisés (ségregations des plantes), Luganville et périphérie (Santo)	enquêtes n = 70 jardins urbains, avec en moyenne 24 espèces différentes	Greindl, 2000 : p 220
695 m2	Jardins mélangés Luganville et périphérie (Santo)	enquêtes n = 70 jardins urbains, avec en moyenne 24 espèces différentes	Greindl, 2000 : p 220
800 à 1200 m2	Mélanésie		Barrau, 1955 : p 125
900 m2	jardins vivriers Malikula		Weightman, 1989 : p 47 citant Harrison (1937)
400-500 m2 (4-5 ares)	jardins d'ignames		Bonnemaison, 1996 : p 235
800 m2	Pentecôte	à partir des données du dernier rescencement agricole, Vanuatu (1994)	Mac Gregor, 1999b, p 15
200 m2	Malikula		
700 m2	Ambrym		
300 m2	Epi		
400 m2	Tanna		

Tableau 2 : durée de culture et de jachères des jardins mélanésiens relevées dans la bibliographie

Durée de culture	Durée de jachère	Localisation	Type de jardin	Référence
	Entre 1 et 4 ans, parfois jusqu'à 10 ans.	Fanafo (Santo)	Vivriers	Tortel, 1998 : p 79
2 ans	-jachères longues : 7 à 10 ans	Tansip, Pentecôte (côte Est)	jardins ignames	Siméoni, 1997 : p 68
2 ans	Entre 14 et 22 ans	Avunatari, Nanuku, Malo (côte Ouest)	Vivriers « alolona »	Allen, 2001 : p 76-78
5 ans	35 ans	Ataripoï, Malo (côte Est)	Vivriers	Allen, 2001 p 76-78
			« alolona »	
2 ans			« seremalavo »	
2 ans	jachères courtes 1 à 4 ans	Vanrasini, Pentecôte (côte Est)	jardins de taro	Siméoni, 1997 p 74 et 79
2 ans en général, parfois 3 (récolte jusqu'en 5 ^e année)	Entre 1 et 30 ans ; moyenne de 7 ans, plus fréquemment dans la gamme la plus courante : 1 et 5 ans, et plus court (1-4 ans) dans Middle Bush Tanna, Tongoa, Paama, Pentecote, Fanafo.	Tongoa, Paama, Nord Pentecôte, Middle Bush Tanna, Fanafo (Santo)	jardins vivriers	Bourke, 1999 : p 9 et 14
2 ans (jusqu'à 3-5 ans pour récolter bananes et kava)	entre 7 et 10 ans	Vanuatu (général)	jardins vivriers traditionnels	Weightman, 1989: p 47
2 ans puis jachère où se reste encore des plantes utiles	10 ans	Pentecôte	jardins ignames	Bonnemaison, 1996 : p 247

Tableau 3 : a) densités de plantation des ignames dans les jardins mélanésiens, relevées dans la bibliographie

plante	plante (nom latin)	densité moyenne (pieds/m2)	densité moyenne (Pieds / ha)	type de jardin	localisation	référence	méthode d'estimation
yam	<i>D. alata</i>	0,36		alolona	Avunatari (côte Ouest Malo)	Allen, 2001 p 74	relevés du nombre d'ignames rapportée à la surface du jardin (n= 14 jardins)
yam	<i>D. alata</i>	0,34		alolona	Ataripoi (côte Est de Malo)	Allen, 2001 p 75	relevés du nombre d'ignames rapportée à la surface du jardin (n= 10 jardins)
ignames	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)		3300	vivrier subsistance		Bonnemaison, 1996 p 248	
yam	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)	entre 1 et 2,5		vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 89	observations de terrain
ignames	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)		6666	vivrier	Efate	d'après Seremele, 2001 p 52	rapport entre la production par hectare et celle par pieds
ignames	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)	0,25	2500	vivrier (jardin diversifié)	côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 72	comptages dans carré de 2 m de côte.
ignames	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)	0,5 à 0,75		vivrier (jardin non diversifié)	côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 72	comptages dans carré de 2 m de côte.
yam	<i>Discorea</i> (espèce non précisée)		15000	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain

plante (nom latin)	densité moyenne (pieds/m2)	densité moyenne (Pieds / ha)	type de jardin	localisation	référence	commentaire
<i>Colocasia esculenta</i>		10000		PNG (Gazelle)	Walter et Tzerikiantz, 1997 p 107	citant Lambert 1982, p 21
<i>Colocasia esculenta</i>		12470		Vanuatu (Aneityum : Umej)	Walter et Tzerikiantz, 1997 p 107	citant Spriggs (1981, annexe 5)
<i>Colocasia esculenta</i>		entre 15000 et 19000		Nouvelle Calédonie	Walter et Tzerikiantz, 1997 p 107	citant Lambert 1982, p 21
<i>Colocasia esculenta</i>		26000		PNG :Bimin Valley	Walter et Tzerikiantz, 1997 p 107	citant Bayliss Smith (1985)
<i>Colocasia esculenta</i>		entre 7000 et 3000		Hawaï	Walter et Tzerikiantz, 1997 p 108	citant Lambert 1982, p 21
<i>Colocasia esculenta</i>		10000	vivrier	Efate	d'après Seremele, 2001 p 52	rapport entre la production par hectare et celle par pieds
<i>Colocasia esculenta</i>	entre 0,75 et 1			côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 86	comptages dans carré de 2 m de côté.
<i>Colocasia esculenta</i>		9 092 (avec densité minimale = 1000 et densité maximale = 22 000)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		17 780 (en monoculture)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		13750 (associé à du maïs à 10 000 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		8862 (associé à du kava à 4739 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		14375 (associé à maïs à 18750 pieds/ha et patates douces à 3125 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		5625 (associé à patates douces à 3750 pieds/ha et choux des îles à 3125 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		10235 (associé à kava à 2537 pids/hha et choux des îles à 2 215	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>		8380 (associé à ignames à 3125 pieds /ha et chou des îles à 5587 pieds /ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observations de terrain
<i>Colocasia esculenta</i>	entre 0,4 et 0,6, jusqu'à 1,2		vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 93	observations de terrain
<i>Xanthosomas sagittifolium</i>		6666	vivrier	Efate	d'après Seremele, 2001 p 52	rapport entre la production par hectare et celle par pieds
<i>Xanthosomas sagittifolium</i>		4500	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	note que sa culture est souvent réalisée en bordure de jardin et dans les jachères

Tableau 3 c) densités de plantation de la patate douce, du manioc et des arachides dans les jardins mélanésiens, relevées dans la bibliographie

plante (nom latin)	densité moyenne (pieds/m ²)	densité moyenne (Pieds /ha)	type de jardin	localisation	référence	commentaire
<i>Ipomoea batatas</i>		20000	vivrier	Efate	d'après Seremele, 2001 p 52	rapport entre la production par hectare et celle par pieds
<i>Ipomoea batatas</i>	0,8		vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 95	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		3870 (avec densité minimale = 500 et densité maximale = 7600)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		5503 (associé à maïs à 14 367 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		3125 (associé à maïs à 18 750 pieds/ha et taro à 14 375 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		2346 (associé à maïs à 9 623 pieds/ha et kava à 2892 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		3047 (associé à choux des îles à 1445 pieds/ha et kava à 2500 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Ipomoea batatas</i>		3750 (associé à choux des îles à 3125 pieds/ha et taro à 5625 pieds/ha)	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	observation de terrain
<i>Manihot esculenta</i>		4444	vivrier	Efate	d'après Seremele, 2001 p 52	rapport entre la production par hectare et celle par pieds
<i>Manihot esculenta</i>		5000	vivrier	Fanafo	Tortel, 1998 p 100	note que sa culture est souvent réalisée en bordure de jardin et dans les jachères
<i>Arachis hypogea</i>	entre 9 et 10		vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 94	
<i>Arachis hypogea</i>		57600	plantations commerciales	Fanafo	Tortel, 1998 p 101	sur billon en ligne, en quasi monoculture (interlignes d'oignons verts)
<i>Arachis hypogea</i>		59999 (associé à kava à 5800 pieds/ha (cultivar Borogo) ou à 4400 pieds /ha (cultivar Ambae et Abogae)	plantations commerciales	Fanafo	Tortel, 1998 p 106	observation de terrain
<i>Arachis hypogea</i>		60000 (associé à kava à 5800 pieds/ha (cultivar Borogo) ou à 4400 pieds /ha (cultivar Ambae et Abogae)	plantations commerciales	Fanafo	Tortel, 1998 p 107	observation de terrain

Tableau 3 d) densités de plantation du kava dans les jardins mélanésiens, relevées dans la bibliographie

plante (nom latin)	densité moyenne (pieds/m2)	densité moyenne (Pieds /ha)	type de jardin	localisation	référence	commentaire
<i>Piper methysticum</i>	0,4		vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 90	observations de terrain
<i>Piper methysticum</i>	0,75		jardins	côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 75	comptages dans carré de 2 m de côté.
<i>Piper methysticum</i>		entre 4 444 et 1000	jardins de kava (avec diverses associations)	Pacifique	Siméoni, 1999 p 121	observations et essais agronomiques
<i>Piper methysticum</i>		20000	plantations commerciales	Fanafo	Tortel, 1998 p 107	en plantation dense (dispositif en carré ou en triangle, espacement inférieur à 1 m entre les pieds). Récolté avant la 4°
<i>Piper methysticum</i>		6000 (associé à gingembre à 4900 pieds/ha)		Fanafo	Tortel, 1998 p 107	
<i>Piper methysticum</i>		2537 (associé à taro à 10 236 pieds/ha et à choux des îles à 2215 pieds/ha)		Fanafo	Tortel, 1998 p 107	
<i>Piper methysticum</i>		2892 (associé à maïs à 9623 pieds/ha et à patate douce à 2346 pieds/ha)		Fanafo	Tortel, 1998 p 107	
<i>Piper methysticum</i>		7000	plantations commerciales	Fanafo	Tortel, 1998, p107	en plantation moins dense (dispositif en carré-espacement de 1m20 entre les pieds). Récoltée après la 4° année

Tableau 3 e) densités de plantation de quelques plantes secondaires dans les jardins mélanésiens, relevées dans la bibliographie

plante	plante (nom latin)	densité moyenne (pieds/m2)	type de jardin	localisation	référence	commentaire
white Bones	<i>Brassica sp.</i>	entre 10 et 11	vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 92	observations de terrain
salades	<i>Lactuca sativa</i>	10	vivrier	Fanafo	Greindl, 2000 p 91	observations de terrain

Plante (nom courant)	Plante (nom latin)	durée cycle de culture (1)	Période de plantation	Période de récolte	Espacement recommandé (2)
Ignames	<i>Discorea spp.</i>	entre 8 et 10 mois selon les variétés	Aout-Septembre	Avril-Juin	1m * 1 m
manioc	<i>Manihot esculenta</i>	entre 9 et 10 mois	Indifférente	Indifférente	1m * 1 m
patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>	de 3 à 8 mois	Avril-Septembre	entre 3 et 5 mois après	1m * 0,5 m
aeland taro	<i>Colocasia esculenta</i>	entre 8 et 10 mois selon les variétés	Indifférente	Indifférente	1m *1m
taro fidji	<i>Xanthosomas sagittifolium</i>	9 mois mais peut être récolté jusqu'à 6 ans après plantation.	Indifférente	Indifférente	1,5 *1 m
potato	<i>Solanum tuberosum</i>	90 à 110 jours	Avril-Septembre	3-4 mois après plantation	0,8m * 0,4 m
tall banana	<i>Musa (plantain du Pacifique)</i>	fructifie après 8 à 10 mois- reste en terre jusqu'entre 3 et 5 ans	Indifférente	Indifférente	4m * 4m
dwarf banana	<i>Musa sp.</i>		Indifférente	Indifférente	2,5 * 2,5 m
ananas	<i>Broméliacés</i>	2 - 3 années (?)	Janvier-Juin	Novembre-Janvier	1,5 m * 0,4 m
arachide	<i>Arachis hypogea</i>	100-140 jours	Avril- Septembre	3- 4 mois après plantation	0,5 m * 0,3 m
english cabbage	<i>Brassica spp.</i>	3 mois	Mars-Septembre	3- 4 mois après plantation	0,7 m * 0,6 m
chinese cabbage	<i>Brassica chinensis</i>	3 mois	Mars-Septembre	2 mois après plantation	0,4 m * 0,3 m
lettuce	<i>Lactuca sativa</i>	60 - 90 jours	Mars-Septembre	2-3 mois après plantation	0,4 m * 0,3 m
Leek/ spring onion	<i>Allium porum</i>	4 - 6 mois	Mars-Juillet	4-6 mois après plantation	0,4 m * 0,2 m
Parsley			Mars-Octobre	2-3 mois après plantation	0,4 m * 0,4 m
Onion	<i>Allium cepa</i>	120 à 170 jours suivant les variétés	Avril	6-7 mois après plantation	0,4 m * 0,2 m
Carrot	<i>Daucus carota</i>	65 - 90 jours	Mars-Septembre	2-3 mois après plantation	0,4 m * 0,4 m
Radis		20 à 105 jours	Indifférente	1-1,5 mois après plantation	0,25 m * 0,25 m
Beetroot			Mars-Aout	3 mois après plantation	0,4 m * 0,2 m
turnip			Mars-Aout	2 mois après plantation	0,4 m * 0,4 m
Tomato	<i>Lycopersicum esculentum</i>	4-5 mois	Février-Sptembre	2-3 mois après plantation	0,7 m * 0,6 m
Egg Plant	<i>Solanum melongena</i>	140 - 160 jours	Indifférente	4-5 mois après plantation	0,7 m * 0,6 m
Capsium	<i>Capsicum annum</i>	5-8 mois	Indifférente	2-3 mois après plantation	0,7 m * 0,6 m
Cucumber	<i>Curcumis sativus</i>	80- 120 jours	Indifférente	2 mois après plantation	2 m * 2 m
Rock Melon		110 - 150 jours	Avril-Aout	2-3 mois après plantation	2 m * 2 m
Water Melon		?	Indifférente	2-3 mois après plantation	2 m * 2 m
Bean	<i>Phaseolus</i>	35 - 50 jours	Mars-Aout	2 mois après plantation	0,7 m * 0,5 m
gingembre	<i>Zingiber zerumbet</i>	10 mois	Aout-octobre	Juin-Aout	0,6 m * 0,3 m

Tableau 5 : Rendement des principales plantes cultivées dans les jardins mélanésiens, relevés dans la bibliographie

plantes nom latin (variété en langage)	kg/ tubercule ou kg/régime	rendement (kg/plant)	rendement (t/ha)	type de jardin / localisation	référence	méthode d'estimation
<i>D. alata</i> (tumas)	5,8			Malo	Allen 2001 p 196	moyenne de pesées sur le terrain
<i>D. numularia</i> (marou)	9,8					
<i>D. rotundata</i> (wailu)	8,9					
<i>D. alata</i> (daekarai)	5,6					
<i>D. esculenta</i> (suru)	7					
<i>D. alata</i> (bisu)	5,4					
<i>D. alata</i> (marabweliru)	5,6					
<i>D. alata</i>			16	agriculteurs visités dans le cadre du projet FAO/UNDP Regional Root Crop Project	Mac Gregor, 1999b, p 6	citant Van Willems et Bule, p 103_ 11
<i>D. alata</i>		5,2	12	ensemble des jardins de Malo	Allen, 2001 p 89	moyenne des observations sur l'échantillon de jardins
<i>D. rotundata</i>		8,9		ensemble des jardins de Malo		densité de plantation
			1,8	jardins de la côte ouest de Malo		moyenne (pieds/m2)
			4,5	jardins de la côte est de Malo		multipliée par le poids
<i>D. esculenta</i>		7		ensemble des jardins de Malo		moyen des tubercules (kg), puis convertie en t/ha
			2,8	jardins de la côte ouest de Malo		
			2,1	jardins de la côte est de Malo		
<i>D. numularia</i>		9,8		ensemble des jardins de Malo		
			26,5	jardins de la côte ouest de Malo		
<i>Discorea</i> (espèces non précisées)			18	agriculteurs visités dans le cadre du projet FAO/UNDP Regional Root Crop Project	Mac Gregor, 1999b, p 6	citant Van Willems et Bule, p 103_ 11
<i>Discorea</i> (espèces non précisées)		4	26,7	type 1: agriculteurs commercialisant leur production, Est et du Sud d'Efate (migrants)	Seremele, 2001 p 52	
		3,5	23,3	type 2: agriculteurs double actifs, Sud de l'île d'Efate		
		5,5	36,7	type 3: agriculteurs ne commercialisant pas leurs productions, Nord et ouest de l'île d'Efate		
		entre 2 et 3	5 à 7,5	jardins d'ignames diversifiés, côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 72	
			15	jardins d'ignames non diversifiés, côte Est de Pentecôte		
		5		moyenne générale	Weightman, 1989 p 85	
		entre 15 et 30			Walter et Lebot, 2002 p 23	
			25	horticulture rituelle traditionnelle	Bonnemaison, 1996 p 247	
	1 à 4	5	17	horticulture de subsistance	Bonnemaison, 1996 p 248	
<i>Colocasia esculenta</i>		1	10	ensemble des agriculteurs de l'île d'Efate enquêtés	Seremele, 2001 p 52	
	entre 0,5 et 2		7,5 à 10	jardin vivrier (diversifié, association taro /kava)	Siméoni, 1997 p 74	
	0,5 à 2		8 à 12	culture pluviale	Bonnemaison, 1996 p 250	
			13,7	champs en pente d'Anatom	Spriggs (1981) cité par Bonnemaison, 1996 p 250	

plantes nom latin (variété en langage)	kg/ tubercule ou kg/realme	rendement (kg/pied)	rendement (t/ha)	type de jardin / localisation	référence	méthode d'estimation
<i>D. alata</i> (tumas)	5,8			Malo	Allen 2001 p 196	moyenne de pesées sur le terrain
<i>D. numularia</i> (marou)	9,8					
<i>D. rotundata</i> (wailu)	8,9					
<i>D. alata</i> (daekarai)	5,6					
<i>D. esculenta</i> (suru)	7					
<i>D. alata</i> (bisu)	5,4					
<i>D. alata</i> (marabwelliru)	5,6					
<i>D. alata</i>			16	agriculteurs visités dans le cadre du projet FAO/UNDP Regional Root Crop Project	Mac Gregor, 1999b, p 6	citant Van Wilmeersh et Bule, p 103_11
<i>D. alata</i>		5,2	12	ensemble des jardins de Malo	Allen, 2001 : p 89	moyenne des observations sur l'échantillon de jardins
<i>D. rotundata</i>		8,9		ensemble des jardins de Malo		densité de plantation
			1,8	jardins de la côte ouest de Malo		moyenne (pieds/m2)
			4,5	jardins de la côte est de Malo		multipliée par le poids
<i>D. esculenta</i>		7		ensemble des jardins de Malo		moyen des tubercules (kg), puis convertie en t/ha
			2,8	jardins de la côte ouest de Malo		
			2,1	jardins de la côte est de Malo		
<i>D. numularia</i>		9,8		ensemble des jardins de Malo		
			26,5	jardins de la côte ouest de Malo		
<i>Discorea</i> (espèces non précisées)			18	agriculteurs visités dans le cadre du projet FAO/UNDP Regional Root Crop Project	Mac Gregor, 1999b, p 6	citant Van Wilmeersh et Bule, p 103_11
<i>Discorea</i> (espèces non précisées)		4	26,7	type 1: agriculteurs commercialisant leur production, Est et du Sud d'Efate (migrants)	Seremele, 2001 p 52	
		3,5	23,3	type 2: agriculteurs double actifs, Sud de l'île d'Efate		
		5,5	36,7	type 3: agriculteurs ne commercialisant pas leurs productions, Nord et ouest de l'île d'Efate		
		entre 2 et 3	5 à 7,5	jardins d'ignames diversifiés, côte Est de Pentecôte	Siméoni, 1997 p 72	
			15	jardins d'ignames non diversifiés, côte Est de Pentecôte		
		5		moyenne générale	Weightman, 1989 p 85	
			entre 15 et 30		Walter et Lebot, 2002 p 23	
			25	horticulture rituelle traditionnelle	Bonnemaïson, 1996 p 247	
	1 à 4	5	17	horticulture de subsistance	Bonnemaïson, 1996 p 248	
<i>Colocasia esculenta</i>		1	10	ensemble des agriculteurs de l'île d'Efate enquêtés	Seremele, 2001 p 52	
	entre 0,5 et 2	7,5 à 10		jardin vivrier (diversifié, association taro /kava)	Siméoni, 1997 p 74	
	0,5 à 2	8 à 12		culture pluviale	Bonnemaïson, 1996 p 250	
			13,7	champs en pente d'Anatom	Spriggs (1981) cité par Bonnemaïson, 1996 p 250	

Annexe 1 : Le fonctionnement agroécologique des jardins mélanésiens
(synthèse bibliographique)

Suite et fin du tableau 5 :

plantes (nom latin)	kg/ tubercule ou	rendement (kg/pied)	rendement (t/ha)	type de jardin / localisation	référence	méthode d'estimation
<i>Xanthosomas sagittifolium</i>		5, 1 pour la première plantation, 2,5 pour une replantation		ensemble des jardins de Malo	Allen, 2001 :p 90	moyenne de pesées
			19,8	deuxième année de culture alolona /côte est de Malo		densité de plantation moyenne est multipliée par le poids moyens des tubercules, puis convertite en t/ha compte tenu d'une réduction de 50 % du rendement entre une plantation et repantation
			1	deuxième année de culture alolona /côte ouest de Malo		
			17,9	deuxième année de culture seremalavo /côte est de Malo		
			7,4	deuxième année de culture seremalavo /côte ouest de Malo		
			1	jardin alolona ouverture + de 2 ans / côte		
		5,5	36,7	type 1: agriculteurs commercialisant leur production , Est et du Sud d'Efate	Seremele, 2001 p 52	
		4,5	30	type 2: agriculteurs double actifs, Sud de l'île d'Efate		
		6,5	43,3	type 3: agriculteurs ne commercialisant pas leurs productions, Nord et ouest de		
			20	rendement moyen obtenu en Mélanésie	Barrau, 1955 p 52	
<i>Musa (tous cultivars)</i>	9,5			ensemble des jardins de Malo	Allen, 2001 :p 90	
			7,6	deuxième année de culture alolona / côte ouest de Malo	Allen, 2001 :p 91	
			4,75	deuxième année de culture alolona / côte est de Malo		
<i>Piper mesthycum</i>		entre 5 et 10	40 à 75	jardin-t (au moins trois ans après plantation de Kava) Côte esde Pentecôte	Siméoni, 1997 p 86	
<i>Ipomoea batatas</i>		2,5	50	type 1:agriculteurs commercialisant leurs productions , Est et du Sud d'Efate (migrants)	Seremele, 2001 p 52	
		2	40	Agriculteurs du type 2 et 3 (île d'Efaté)		
<i>Ipomoea batatas</i>			entre 14 et 30	généralité	Mac Gregor, 1999b, p 9	citant Weightman, 1989 p 30
<i>Manihot esculenta</i>		4	17,8	type 1:agriculteurs commercialisant leurs productions , Est et du Sud d'Efate (migrants)	Seremele, 2001 p 52	
		5	22,2	type 2: agriculteurs double actifs, Sud de l'île d'Efate		
		5	26,7	type 3: agriculteurs ne commercialisant pas leurs productions, Nord et ouest de l'île d'Efate		

Table 6 : Association et principales rotations de culture observées dans les jardins mélanésiens, relevées dans la bibliographie

Type d'association	Cultures Associées	Type de jardin/ localisation	référence	commentaire
Pied à pied	- Mais + patates douce	Jardins Vivriers de Fanafo (Santo)	Tortel, 1998 : p 96	Des relevés de densité accompagnent ces observations (voir tableau 5)
	- Choux des îles + mais (+ patate douce)			
	- Taro + maïs + patates douces			
	- Taro + choux des îles (+ kava)			
En ligne	- ananas et gingembre			
	- ananas - bananier et kava			
	- ananas et patates douces			
	- arachide et oignons vert			

Rotations	Type de jardin/ localisation	référence	commentaire
ignames- patates douces, manioc	vivirer (général)	Weightman, 1989 p 51	rotation décrite comme la plus courante
ignames- taro fidji	vivirer (Santo)	Weightman, 1989 p 51	
ignames - taro fidji - bananes-manioc	vivirers (Malikula)	Weightman, 1989 p 51	

Nathalie Lamanda; version août 2002

Annexe 2 :
Exemple d'enquête sur l'histoire culturelle des parcelles de cocotiers

Fiche parcelle cocotier

IDENTIFICATION :

Nom de l'exploitant : JEREMY LOUIS (son fils : kensly)

Origine : Jeremy est de Paama, il est arrivé en 1960, il achète une terre en 1980 après avoir travaillé dans la plantation de FSNH vers Malo Pass, Il vient planter ses cocotiers et retourne travaillé à la plantation. En 1989 (les cocotiers portent des fruits) il vient s'installer ici et se marie avec Anna (originaire de Malikula) les enfants (4) sont nés sur la plantation.

Nombre de parcelles cocotier possédées par lui-même et localisation :

N°	Localisation + (L /P pour littoral/plateau)	Date plantation (héritage O/N)	situation
1	Amambwéléo (Natanodiaha) P	1981	Parcelle divisé voir croquis
2	Parcelle adjacente donné par le landowna en échange de la préparation d'une plantation pour lui,	1991-1993	La moitié est planté en cocotier, l'autre est réservée pour le jardin

Autres parcelles possédées par sa famille : question abandonnée

Parcelles jardins .

Il fait le jardin sur une portions de parcelle donné par le landowna (qui leur a vendu la parcelle où ils habitent), en échange de la plantation d'une partie de la parcelle avec des cocotiers et de leur entretien jusqu'à leur entrée en production. Il a fait son jardin sur la portion qu'il plante pour le landowna puis y a mis des vaches au piquet. Quand la parcelle entre en production, il la restitue au landowna, qui en échange lui donne une portion de terrain adjacente à la portion qu'il a planté.

Il en plante la moitié en cocotier et laisse l'autre moitié pour le jardin.

PARCELLE COCOTIER N° 1

SITUATION CULTURALE ACTUELLE : Description de(s) l'association de culture

	Dispositif de plantation:	Esp/ var	Stade (+ date installation)	Quantité Récolte/ Fréquence
Cocotiers	Distance de 9 m entre les cocotiers, plantés en carré	GVT local	Pleine production (1981- 1984)	Récolte tous les 3 mois (environ 4 fois par an) 2à sacs d'albumen = 10-11 sacs de coprah. Vendu selon la quantité, à la coopérative d'Avunatari ou sur place à Andrew
Fruitiers	bredfrut, pomkanel, manggo, naos, pamplemousse, navele, avocado (fin de prod°), nanggaie, goyave, mandarine, aranis, disséminés sur l'ensemble de la parcelle 2 sop bambou et 1 strong bambou sous les cocotiers			
Cacao	Installé en 1983 mais pas sous cocotiers		local	Production(début récolte en 1991)/maladies
Jardin	Reste yam, taro, banana, bigfala triPepper installé en 1995 à côté de la maison			

Autres ?	Une partie de la parcelle réservée pour les habitations, on y trouve aussi un store et un four à air chaud.
----------	---

Association bétail

Propriétaire(s)	Lui (au total en possède 15, un bull vient de naître, 2 sur parcelle n° 2 et 10 prêtées pour nettoyer les parcelles d'autres)
Nombre de tête sur la parcelle	2
Piquet ou en parcelle clôturée ?	Cloturé, la zone de cocotier forme un enclos
Nombre de jour sur la parcelle	1 mois
Nombre de jours hors de la parcelle	2 mois
Depuis combien de temps	Depuis 1997, avant la famille n'avait pas de vaches

Date d'installation de la situation actuelle :	1997
Temps passé actuellement sur la sous parcelle /par qui :	Chaque matin : qq minutes pour changer les vaches de places, sinon récolte du coprah

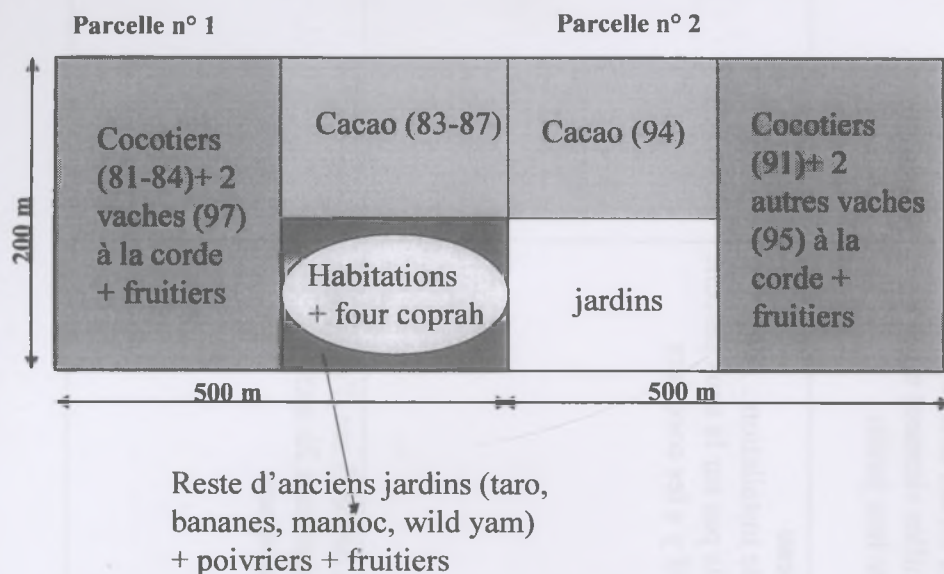
Milieu naturel :

Passages de cyclone sur la parcelle	Tous les ans, sauf cette année
Topographie	Plat (qq buttes sur la parcelle)
Etat sanitaire	Hélmintosporiose
Autre	

STRUCTURE DU PEUPLEMENT COCOTIER :

Matériel végétal : GVT

Homogénéité densité : **densité régulière**
Homogénéité Age : Globalement régulier (moins de 5ans d'écart entre arbres)



Organisation de la parcelle de la famille de Jeremy LOUIS

Figure 1 : organisation spatiale des parcelles de la famille LOUIS (islander)

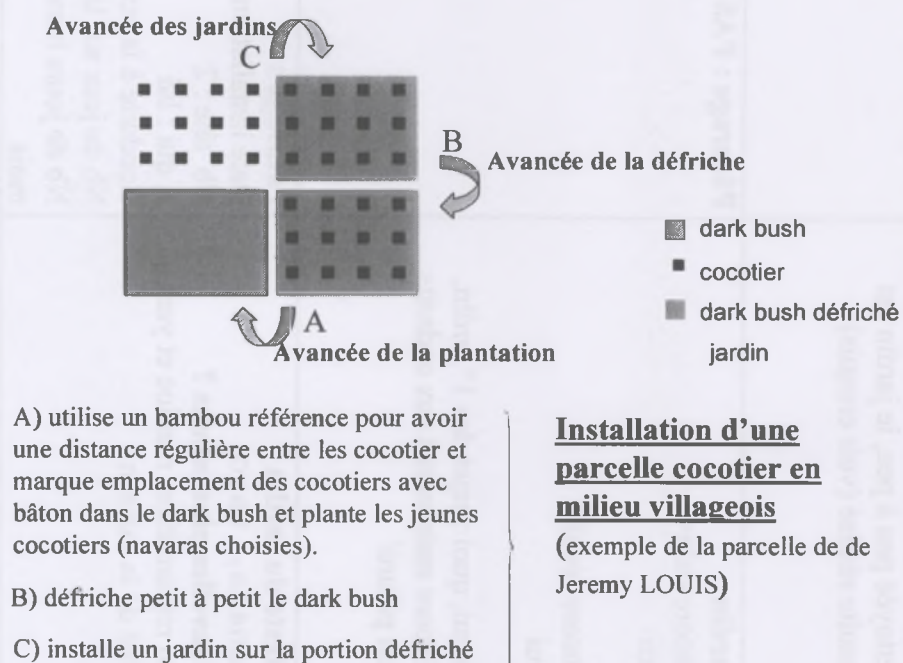


Figure 2 : installation de la sous parcelle de cocotiers (1981-1984)

HISOIRE CULTURALES : SITUATIONS CULTURALES PRECEDENTES : Noter la situation actuelle

	<i>Date ou période</i>			<i>Temps passé sur la parcelle/ par qui</i>		RQ
* Installation de la parcelle cocotier :	Achat terre en 1980, début des plantations de cocotier en 81	<u>Précédent</u> dark bush les cocotiers sont marqués dans le dark bus, puis la sous parcelle est nettoyée peu à peu, le jardin est ensuite réalisé (voir croquis)	Plantation des cocotier : Sur 4 années (entre 1981 et 1984) Dispositif : 9 m, en carré	Jardins Associés aux cocotiers : N/O Jardin après la plantation des cocotiers/ Chaque jardin dure un an, deux autres familles viennent aussi y faire leur jardin	Deux demies journées par semaine et par famille (WE travaillent à la plantation)	
*Floraison /début d'entrée en production:	Entre 1983 et 1987	Jardin Encore cultivé Oui Encore récolté oui Si oui, quoi : rejet des 1° jardin, Encore maintenant aux endroits non pâturé/	Pâturage : PAS ENCORE	Cacao Date installation : 1987 mais pas sur la sous parcelle où il y a les cocotiers		
*Récolte coprah/ Pleine Prod	A partir de 1990	Reste du jardin ? banana, taro Nouvelles plantations ? Qq replantation, manioc et yam à côté de la maison	Pâturage : Date installation : 1997 Nb tête : 2 A qui : lui Conduite à la corde Nb de jour sur la parcelle : 1 mois Nb de jours hors de la parcelle : 2 mois	Au départ 3 sac d'albumen, maintenant 2à sacs d'albumen		

Deux méthodes d'estimation de la surface des parcelles ont été utilisées :

- (1) la méthode GPS
- (2) la méthode par triangulation (avec le mètre ruban).

Le protocole suivi pour chacune de ces méthodes est présenté ci-dessous ainsi que la confrontation des résultats obtenus par ces deux méthodes d'estimation pour la mesure de surface de 115 parcelles.

a) Estimation de la surface par relevés du contour de la parcelle au GPS

Lorsque la précision du signal GPS (Geographical Positioning System) est inférieure ou égale à 5m, on relève un ensemble de points correspondant aux limites de la parcelle.

Ces coordonnées sont ensuite utilisées pour construire à l'aide d'un logiciel SIG (par exemple : MAP INFO © ou ARC VIEW ©) pour construire des polygones représentant la forme de la parcelle. Les fonctionnalités de ces logiciels permettent alors de calculer automatiquement la surface (en m² ou en ha) des parcelles.

Par exemple pour calculer avec MAP INFO © la surface d'une parcelle dont on a relevé les coordonnées, une table est construite avec les coordonnées métriques des limites de la parcelle. En passant en mode carte, ces coordonnées sont spatialisées. La fonction « traçage de polygone » permet de les relier et de construire le polygone correspondant. Après avoir enregistré ce polygone, sa surface est calculée automatiquement avec la fonction « return area » du menu calcul.

b) Estimation de la surface par relevés du contour et des diagonales au mètre ruban (Morelli, 2003)

Sur le terrain, on mesure à l'aide d'un mètre ruban tous les côtés de la parcelle, et on les reporte sur papier avec une indication schématique des angles. On effectue également des mesures complémentaires de diagonales. On reproduit ensuite le tracé de la parcelle à l'échelle sur papier quadrillé, les mesures des diagonales reportées à l'aide d'un compas permettant d'ajuster les angles. On déduit alors la **surface S de la parcelle en m²**, soit par décompte des carreaux compris dans le périmètre, soit par utilisation d'un planimètre, soit en décomposant la parcelle en une somme de figures géométriques simples et régulières dont la surface est aisément calculable.

c) Confrontation des deux méthodes d'estimation de la surface

La précision des mesures par GPS est relativement faible pour des couverts relativement fermés, comme ceux rencontrés en bordure des parcelles de jardins ou de cocotiers, ceci induit une erreur importante en particulier quand il s'agit de prendre la distance entre deux points proches (quelques dizaines de mètres). Du fait de cette faible précision, on prévoyait l'obtention d'un important écart entre les surfaces mesurées par les différentes méthodes. Or, d'une manière générale elles présentent une bonne corrélation entre elles de 0,94 (figure 1 :). Or, d'une manière générale, les résultats obtenus avec les deux méthodes de mesures (GPS et mètre ruban) sont relativement comparables ($r^2=0,94$).

Il convient toutefois de remarquer de l'échantillon de parcelles représentent une grande gamme de surface (de à 0,01 à 4 ha) et que le coefficient de corrélation obtenu entre les deux méthodes varie avec la gamme de surface considérée (tableau 1).

La précision des mesures de surface au GPS augmente avec la taille des parcelles. A partir de surface de 5000m², le coefficient de corrélation entre les résultats obtenus par les deux types de méthode de mesure est de l'ordre de 0,90 (voir tableau 1). Pour des parcelles de taille inférieure, on choisira de mesure la surface avec un mètre ruban, pour des parcelles de taille supérieure, la méthode par relevés GPS, moins fastidieuse sera donc préférée.

Notons toutefois que ces deux approches permettent chacune d'apporter des informations supplémentaires utiles pour la caractérisation des parcelles :

Le relevé des coordonnées GPS permet le positionnement des parcelles géographique du jardin (altitude, distance aux autres parcelles ou au lieu d'habitation)

La méthode avec le ruban mètre permet d'établir le schéma exact de la parcelle (utile en particulier pour l'analyse intra parcellaire de la structure du peuplement et l'évaluation de la production des parcelles de jardins).

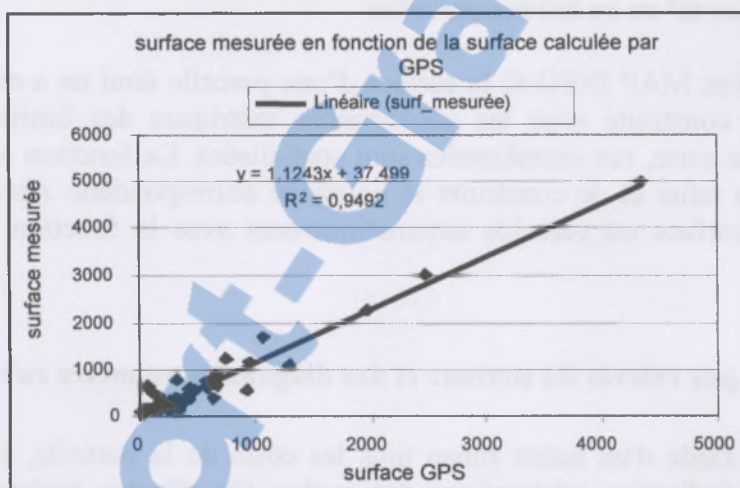


Figure 1 : Corrélation entre les valeurs des surfaces mesurées par GPS et calculées par MAPINFO vs les valeurs de surface mesurées avec un mètre ruban et calculées par triangulation (extrait de Morelli, 2003).

Tableau 1 : Les coefficients de corrélation entre les méthodes d'estimation des surfaces des parcelles pour différentes classes de surface

Classe de surface considérée	Coefficient de corrélation entre les méthodes d'estimation de la surface (r^2)
<500 ²	0.44
< 1000 m ²	0.44
<2000m ²	0.65
< 5000 m ²	0,92

Annexe 4 : Exemple de grille de relevés des différents critères de structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers.

1° limiter et la parcelle :

N° parcelle : Nom exploitant : Green (ou) Localisation : Green (ou) date : 10/05/02
 Faire croquis de la parcelle (Limites & forme générale (angle et distance entre les angles): nombre de lignes de cocotier nombre coco par ligne

2° caractériser l'homogénéité de la situation

	O/N ¹	Nb	/importance	Limites	Remarques
Existe des zones facilement repérables	<u>Oui</u>				
Zone où dispositif plantation bien conservé	<u>Oui</u>	<u>1 principal</u>		<u>(632 -) (635)</u>	
Zone de trouées	<u>Oui</u>	<u>non car</u>		<u>plan d'arbre</u>	<u>non repérer</u>
Zone = sous situation	<u>Oui</u>		<u>(2/05)</u>	<u>612 -) 614 + 614 631</u>	<u>Caract. en fonction de l'angle d'écoulement de la parcelle</u>
Zone de modif topo /	<u>différent</u>	<u>vers le</u>	<u>monde</u>		
Zone de four à coprah					
Zone de passage					
Autres (préciser)	<u>O</u>		<u>pas</u>	<u>611 -) 616</u>	<u>0.8 610</u> <u>éclats - pour p. 200</u>

3° HOMOGENEITE DE LA SITUATION :

	P/A ²	Type (L/D/R) ³	Si L : zone	remarques
Strates arborées supérieure aux cocotiers en prod	<u>P</u>	<u>D</u>		<u>pas de</u>
Strates arborées inférieure	<u>P</u>	<u>R</u>		<u>pas de</u>
Strates herbacées supérieures				
Strates herbacées inférieures				
Précences litière /sol	<u>P</u>			
Tas de bourres				
Strates cocotier	<u>1</u>			
1 génération				
2 génération				
1 génération + 1 spontané	<u>X</u>			
1 génération + pls spontanées				
2 génération + pls spontanées				

4) Etablir le nombre de fiches nécessaire à la caractérisation de la parcelles :

.....

¹ O pour oui N pour Non

² P pour présence A pour absence

³ L pour localisée ; D pour disséminée et R pour régulière

Structure & état strate cocotier

GSIA

Parcelle n° 1354 zone n°

Exploitants..... Localisation.....

Nombre de Générations cocotiers : ; fiche de la génération :

Dispositif	Carré	X	régularité	Lignes directement visible	
	Triangle			Lignes facilement repérables	X
	Autre (préciser)			Lignes difficilement repérables	
				Lignes pas repérables	
	Pas de dispositif apparent			Remarques	Diff. distance = inég. début

N° observation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rmq
Distance entre les lignes	7,8	7,9	7,3	8,3	9	8,7	8,4	6,6	7,2	6,9	
Distance sur la lignes	5,9	6,9	8,1	8,1	11,5	8,6	8,7	3,6	10,1	8,3	
% S	40	57	47	56	40	47	35	63	45	56	
% B	-12	-12	-12	-11	-3	-2	-3	-4	-3	-8	
Distance	21,3	15,0	14,5	20,4	29,2	20	25,6	20,5	26,8	23,6	
Devers du cocotier											

Noter position des cocotiers morts au GPS (CM1, ... CMn)

Noter début de lignes des cocotiers au GPS (LC1, ... LCn)

Nombre de lignes sur la parcelle	Nb coco originel sur une ligne	Nb coco morts sur placette	quantité de navara ¹ au sol
		① ② ③ ④	
		1 0 1 1	
	Nb coco morts sur 1 ligne	Nb cocot total sur placette	
		19 11 12	

Faire grille d'état (vivants mort des arbres) et du positionnement de la placette dans la parcelle.

Date dernière récolte :

Autres remarques :

tas de terre

Zone sans dents

¹ 0 pas de navara au sol. + qq navara. pas très développées. ++ qq navara relativement développées (environ 4-6 mois) : +++ quantité importante de navara relativement développées

(63) → (63) → plan avec parcelle n° 2
(63)

Rapport-gratuit.com



LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

carences ²										Ravageurs /maladies ³						Production NN						
N°	N	K	P	Mg	Bo	S	Cu	Fe	Phasmes	Rats	Helminth.	Coritici	Cochen.	nestaloj	Autres	Forme Couronne ⁴	NN14	NN19	NN22 ou 23	Nb de ccf (à 1 m base du stipe)	Distance entre 12 ccf	Signe
1																S	8	5	0	8	1,4	
2																X	6	7	0	8	1,4	
3																S	9	6	0	9	1,3	
4																S	14	6	0	11	1,1	
5																S	13	8	0	10	1,15	
6																S	7	8	0	9	1,3	
7																S	4	6	2	11	1,1	
8																X	12	5	0	11	1,1	
9																S ₁	14	5	2	11	1,06	
10																S	10	4	1	13	0,50	

Remarques

Certaines tris 2 à 3
Helminthosporia
pas de carence constatée

Récolte de 5 - 10 noix sur la parcelle / les référencer au feutre (mesure de l'épaisseur de l'albumen sur terrain si impossible de transporter les noix).

² Non identifié : 0, présence identifiée +, ++ carence très nette

³ Non identifié : 0, présence remarquée = 1, présence importante, 3 ; très importante : 5

⁴ forme en V, S semi S (noté sS) ou X

CA 0001 YACD 935

Fiches structure & état Strates arborées

Strate SUPERIEURE / INFERIEURE (coco en prod) N° parcelle : N° zone (ou placette) : exploitant : ... ;

remarque	Espèces	Nb	Hauteur 1			Hauteur 2			Hauteur 3			Hauteur 4			Hauteur 5			Dispositif de plantation (localisation)	Statut Arbre ¹	N/P	Etat sanitaire 0; +; ++
			%S	%B	D	%s	%b	D	%s	%b	D	%S	%b	D	%s	%b	D				
	Breadfruit																				
I	Manglier	1	59	-6	183													(65)			
	Banjan																				
S	Nangaie	1	32	-2	303													(66)			
	Narara																				
I	Bambou strong	1	36	118	62													(64)			
	Bambou sup sup																				
	Pandanus																				
	Natongor																				
I	Nakavika	1	22	-3	387													(63)			
	Natapoa																				
I	Navele	4	63	-11	103	63	-23	6,4	84	-15	103	52	-11	155				(65) (45) (63) (62)			
	Namanbê																				
	Corrosol																				
I	Pamplem	16	42	-12	147	33	-10	183	34	-12	147	45	-9	157	55	-7	172	(63) (64) (46) (64) (66)			
	Orange																				
I	Mandarin	3	60	-6	106	37	-12	95	55	-10	103							(43) (63) (66)			
	Melektree																				
I	Bourrao	6	25	-11	5,5													(63) + 165 autres arbres de la p			
	Nambê																	main de 101 à 608			

¹ Passé(p) ; présent (P). Futur (F)

Annexe 4 : Exemple de grille de relevés des différents critères de structure de la végétation sur les parcelles paysannes de cocotiers.

Strates arborées SUPERIEURE / INFERIEURE cocotiers (suite);

parcelle n°.....

zone n° :

remarque	Espèces	Nb	Hauteur 1			Hauteur 2			Hauteur 3			Hauteur 4			Hauteur 5			Dispositif de plantation = (localisation) GPS	Statut Arbre ²	N/P	Etat sanitaire 0; +; ++
			% S	% B	D	% s	% b	D	% s	% b	D	% s	% b	D	% s	% b	D				
	Citronnier																				
	Namanbê																				
	Nandao																				
S	Nakavika	4	50	0	303	74	1	303	74	1	303	74	1	303	74	1	303	640 (41°) 67 (42°)	P		
S.I	Nandao	2	67	-5	311	55	-5	303										600 (42)	PAN	++	

² Passé(p) ; présent (P). Futur (F)

Annexe 5 :

Matrice des usages des espèces sur les parcelles paysannes de cocotiers (établie à partir de la bibliographie et des dires d'acteurs)

Nom vernaculaire (bishlama)	Nom latin	artisanat/usage								Référence
		commercialisé	comestible	construction	combustible	dans la vie courante	apetable	coutumier	médicinal	
Breadfrut	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) <i>Fosberg</i>	⊕	⊕	⊕		+		+		2, 3, 4,
Manggo	<i>Mangifera indica</i>	⊕	⊕				+			2,4
Banian Tree/ Nabamgga	<i>Ficus spp</i>	⊕	⊕	+	⊕	+		+		1,2, 4
Nangaie	<i>Canarium indicum</i> L.	⊕	⊕	⊕	+			+		1, 2, 3, 4
Narara	<i>Erythrina variagata</i> L. ex <i>Stikman</i>					+		+		1, 2,4
Bambou	<i>Phyllostachys</i>			⊕		⊕		+		2, 4
Pandanus	<i>Pandanus tectorius</i> Parkinson			○		⊕		⊕		1, 2, 3, 4
Natangora	<i>Metroxylon warburghii</i>	⊕		⊕				+		1, 2, 3, 4
Nakavika	<i>Syzygium malaccence</i> (L.) <i>Merr. & Perry</i>	+	⊕	○	⊕		+	+		1, 2,3, 4
Natapoa	<i>Terminalia catappa</i> L.	⊕	⊕	⊕	○			+		1, 2,3, 4
Navele	<i>Barringtonia edulis</i> Seem.	⊕	⊕		+			+		1, 2,3, 4
Namambé	<i>Inocarpus fagiferus</i> (Park.) <i>Fosb.</i>	⊕	⊕					+		1, 2,3, 4
Korrosol	<i>Annona spp.</i>	+	⊕		+			+		2, 4
Pomelos	<i>Citrus grandis</i>	⊕	⊕		+					2, 4
Mandarine	<i>Citrus reticulata</i>	⊕	⊕		+					2, 4
Melektree	<i>Antiaris toxicaria</i> (Pers.) <i>Lesch.</i>	⊕		+	+			+		1, 2, 4
Bourrao	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.		○	⊕	⊕	⊕	+	+		1, 2, 3, 4

Nom vernaculaire (bishlama)	Nom latin	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie courante	apetable	coutumier	médicinal	Référence
Lemon Tree	<i>Citrus limon</i>	⊕	⊕		+	+				2, 4
Naos	<i>Spondias dulis</i>	⊕	⊕						+	1, 2, 3, 4
Nandao	<i>Pometia pinnata</i> J.R. & G. Forst	⊕	⊕	O	⊕				+	1, 2, 3, 4
Guava	<i>Psidium guajava</i>	+	⊕					+		2, 4
Namele	<i>Cycas circinalis</i>							⊕	+	2, 4
Beans Tree	<i>Castanospermum australe</i> Cunn., A.	⊕	⊕	⊕						1, 2, 4
Vamalaose	<i>Garuga floribunda</i> Decne.	+		⊕		+		+		1, 2, 4
Avocado	<i>Persea spp.</i>	⊕	⊕							2, 4
Nakatambol	<i>Dracontomelon vitiense</i> Engler	⊕	⊕	⊕	+	+			+	1, 2, 3, 4
Navenue	<i>Macaranga spp.</i>			⊕	⊕	+			+	1, 2, 4
Nangalat	<i>Dendrocnides spp.</i>					+		+	+	1, 2, 4
Naduledule	<i>Burckella obovata</i> (G. Forster) Pierre	+	⊕	O		+			+	1, 2, 4
erythrines	<i>Erythrina variegata</i>		O			+				2, 4
Aranis	<i>Citrus</i>	⊕	⊕		+		+		+	2, 4
White Wood	<i>Alphitonia zizyphoides</i> , <i>Endospermum medullosum</i>	⊕		+		+			+	1, 2, 4
Nanbangura	<i>Calophyllum inophyllum</i> L.	⊕		⊕	O			+		1, 2, 4
Coton	<i>cotton</i>	⊕								
Namamau	<i>Securinega flexulosa</i>			+	+	+				1, 4

Nom vernaculaire (bishlama)	Nom latin	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie courante	apetable	coutumier	médicinal	Référence
Morinda Tree	<i>Morinda citrifolia</i>	+	⊕	+				+	1	1, 4,
Nambe	<i>Nambe</i>		+		+			+	+	1, 2, 4
Nabalango	<i>Ficus aspera</i> Forster F.	+	⊕		+				+	1, 4
Palm Tree	<i>Palm tree</i>		+	+		+				1, 2, 4
Navuli	<i>Pterocarpus indicus</i>	+		⊕		+			+	1, 4
cacao	<i>Theobroma cacao</i> Linné	⊕	+							2, 4
Cherry tree			0			+				
namadal										
vohuli					⊕					
kokonas	<i>Cocos nucifera</i>	⊕	⊕		⊕	⊕		⊕	⊕	2, 4
Flowa tree						+				
nagarie						+				
Sting wood	<i>Dysoxylum spp.</i>			+					+	1
Chrismas tree						+				

USAGES

Nom vernaculaire (bislama)	Nom latin	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apetable	coutumier	medicinal	Références
Soft Yam	Discorea spp.	⊕	⊕							6,7
Corn	Zea mays	⊕	⊕							6,7
Konkomber	Cucumis sativus	⊕	⊕							6,7
kava	Pipper methysticum	⊕	⊕					⊕	⊕	6,7
taro	Colocasia esculenta	⊕	⊕							6,7
ginger	Zingiber officinale	⊕								6,7
Passion frut	Passiflora edulis	⊕	⊕							6,7
Spring onion	Allium porum	⊕	⊕							6,7
Chouchoute	Sechium edule	⊕	⊕							6,7
Bovile		⊕	⊕					⊕		6,7
pumpkin	Cucurbita maxima	⊕	⊕							6,7
Green kapis	Brassica	⊕	⊕							6,7
Wata melon	Citrullus lanatus	⊕	⊕							6,7
courge		⊕	⊕							6,7
pinut	Arachis hypogea	⊕	⊕							6,7
nabiso	Saccharum edule	⊕								6,7
yam	Dioscorea sp	⊕	⊕					⊕		6,7
sneak bin		⊕	⊕							6,7
egg plant	Solanum melongena	⊕	⊕							6,7
kari	Curcuma longa	⊕								6,7
potaeto	Solanum tuberosum									6,7
carot	Daucus carota									6,7
parsley	Petroselinum crispum									6,7
Paw Paw	Carica papaya	⊕	⊕					+	+	6,7
Banana	Musa spp	⊕	⊕		+				+	6,7
Taro Fidji	Xanthosomas sagittifolium	⊕	⊕							6,7

Nom vernaculaire (bislama)	Nom latin	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apetible	coutumier	medicinal	Références
Kumala	<i>Ipomoea batatas</i>	⊕	⊕							6,7
Strong Yam	<i>Discorea nummularia</i>	⊕	⊕							6,7
Aeland	<i>Abelmoshus manihot</i>	⊕	⊕							6,7
Kappish										
Maniok	<i>Manihot esculenta</i>	⊕	⊕							6,7
Oignons	<i>Allium cepa</i>	⊕	⊕							6,7
Laituces	<i>Latuca sativa</i>	⊕	⊕							6,7
Beans	<i>Phaseolus vulgaris</i>	⊕	⊕							6,7
Pineapple	<i>Ananas comosus</i>	⊕	⊕							6,7
Vanilla	<i>Vanilla planifolia/tahitensis</i>	⊕								6,7
Pepper	<i>Piper nigrum</i>	⊕								6,7
Leaf Lap Lap	<i>Heliconia indica</i>	⊕								6,7
White Bone	<i>Brassica rappa</i>	⊕								6,7
Sugarcane	<i>Saccharum officinarum</i>	⊕								6,7
Tomatoes	<i>Momordica charantia</i>	⊕								6,7
Round Kappish	<i>Brassica oleracea</i>	⊕								6,7
Leaf umbrella					+					6,7

Usages des différentes espèces arborées identifiées sur les parcelles cocotier de l'île de Malo

(O = usages recensés dans la bibliographie, + = usages recensés par les dires des exploitants, ⊕ = usages recensés à partir de la bibliographie et confirmé par les dires d'exploitants).

Références : (1) Wheatley, 1992 ; (2) Clarke and Thaman, 1993 ; (3) Walter and Sam, 1999 ; (4) Elevitch C.R et Wilkinson; 2000(5) Allen, 2001 ; (6) Lebot et Walter, 2003, (7) Mc Gregor A. (1999b).

Wheatley J.I. (1992). A Guide to the Common Trees of Vanuatu with list of their traditional uses & ni-vanuatu names. Vanuatu's Department of Forestry, Port Vila. 308 pp.

Clarke W. C. and Thaman R.R. (eds) (1993). Agroforestry in the Pacific Islands: systems for sustainability. United Nations University, Tokyo: 297 pp.

- Allen M.G. (2000). Subsistence or Cash Cropping ? Food Security on Malo Island, Vanuatu. In: Bourke R.M., Allen M.G. and Salisbury J.G. (eds.) Food Security for Papua New Guinea - Proceedings of Papua New Guinea Food and Nutrition Conference. PNG University of Technology, Lae, 26-30 June 2000. Canberra ACT : 100-111.

- Walter A. and Sam C (1999). Fruits d'Océanie. IRD (eds) Paris: 310 pp.

- Walter A., Lebot V et Sam C. (2003). Les Jardins d'Océanie. IRD eds Paris 326 pp.

- Mc Gregor A. (1999b). Land use profiles: Root crops and self-sufficiency farming systems. Port Vila, AUSAID Vanuatu Land Use Planning Project. 44 pp.

- Elevitch C.R et Wilkinson, K.M. (2000.) Agroforestry Guides for Pacific Islands. <http://www.agroforestry.net/afg/book.html>

Annexe6 :
Tableaux simplifiés des usages du peuplement pour différents groupes structurels

GROUPE STRUCTUREL I1A (n= 7 parcelles, exploitants enquêtés)										
type	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce	Fréquence de l'espèce	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèce majeure	<i>Cocos nucifera</i> L.	1	1/1	1/1		1/1	1/1			
espèces ligneuses fruitiers	<i>Mangifera indica</i> , <i>Barringtonia edulis</i>	15	14/15	15/15	2/15	14/15	3/15	11/15	8/15	
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L.	12	1/12		7/12	7/12	6/12	3/12	2/12	
espèces herbacées alimentaires	<i>Xanthosomas sagittifolium</i> , <i>Musa spp.</i>	6	1/6	6/6			1/6		1/6	

GROUPE STRUCTUREL I1B (n= 8 parcelles, exploitants enquêtés)									
type	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèce majeure	<i>Cocos nucifera</i> L.	1	1/1	1/1		1/1	1/1		1/1
espèces ligneuses fruitiers	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Barringtonia edulis</i> , <i>Mangifera indica</i>	15	14/15	15/15	8/15	13/15		10/15	10/15
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L., <i>Securinega flexulosa</i>	8	2/8		5/8	5/8	3/8	3/8	2/8

GROUPE STRUCTUREL I1C (n = 4 parcelles, exploitants enquêtés)									
type	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèce majeure	<i>Cocos nucifera</i> L.	1	1/1	1/1		1/1	1/1		
espèces ligneuses fruitiers	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>Canarium indicum</i>	15	14/15	15/15	3/15	14/15	1/15	7/15	2/15
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L., <i>Erythrina variegata</i>	11			8/11	5/11	4/11	2/11	1/11
espèces herbacées alimentaires	<i>Abelmoshus manihot</i> , <i>Musa spp.</i>	10	2/10	10/10			1/10		1/10
autres espèces herbacées	<i>Heliconia indica</i>	1					1/10		

GROUPE STRUCTUREL I4B (n = 2 parcelles, exploitants enquêtés)									
type	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèce majeure	<i>Cocos nucifera</i> L.	1	1/1	1/1		1/1	1/1		
espèces ligneuses fruitiers	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>Canarium indicum</i>	7	4/7	7/7	2/7	4/7	1/7	2/7	1/7
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L., <i>Erythrina variegata</i>	5			5/5	3/5	3/5		
espèces herbacées alimentaires	<i>Abelmoshus manihot</i> , <i>Musa spp.</i>	10	3/10	10/10			1/10		1

GROUPE STRUCTUREL I2 (n= 3 parcelles, exploitants enquêtés)									
sous groupe (type d'espèces)	Espèces les plus fréquentes	Nombre d'espèce dans le sous groupe	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apetable	coutumier et/ou médicinal
espèces majeures*	<i>Cocos nucifera</i> L.	1		1/1			1/1		
espèces ligneuses fruitières	<i>Syzygium malaccence</i> , <i>Inocarpus fagiferus</i>	7	2/7	7/7		3/7			2/7
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L., <i>Dendrocnides</i> spp.	10		1/10	7/10	4/10		1/10	2/10
espèces herbacées alimentaires	<i>Musa</i> spp., <i>Carica papaya</i> <i>Xanthosomas sagittifolium</i>	13	10/13	13/13			1/13		1/13
autres espèces herbacées	<i>Heliconia indica</i>	1					1/1		

GROUPE STRUCTUREL II1C (n= 2 parcelles, exploitants enquêtés)									
type	espèces les plus fréquentes	Nombre d'espèces	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apetable	coutumier et/ou médicinal
espèce majeure	<i>Cocos nucifera</i> L.; <i>Theobroma cacao</i> L.	2	2/2	2/2		1/2	1/2		
espèces ligneuses fruitiers	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Mangifera indica</i>	10	2/10	10/10		4/10		1/10	1/10
autres espèces ligneuses	<i>Hibiscus tillaceus</i> L., <i>Metroxylon warburghii</i> , <i>Phyllostachys</i>	5			4/5	2/5	3/5	1/5	1/5
espèce herbacée alimentaire	<i>Discorea nummularia</i> , <i>Musa</i> spp.	4		4/4			1/4		
autres espèce herbacée	<i>Heliconia indica</i>	1					1/1		

GROUPE STRUCTUREL II1A (n= 3 parcelles, exploitants enquêtés)									
sous groupe	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce dans le sous groupe	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèces majeures*	<i>Cocos nucifera</i> L.; <i>Theobroma cacao</i> L.	2	2/2	2/2		1/2	1/2		
espèces ligneuses fruitières	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Persea indica</i> ; <i>Mangifera indica</i>	13	10/13	13/13	3/13	12/13		4/13	5/13
autres espèces ligneuses	<i>Securinega flexulosa</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	6			4/6	3/6	4/6	2/6	1/6
espèces herbacées alimentaires	<i>Musa spp.</i> , <i>Xanthosomas sagittifolium</i>	3		3/3			1/3		
autres espèces herbacées	<i>Cycas circinalis</i>	1							1/1

GROUPE STRUCTUREL II1B (n= 1 parcelle, exploitant enquêtés)									
sous groupe	espèces les plus fréquentes	Nombre d'espèces dans le sous groupe	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèces majeures*	<i>Cocos nucifera</i> L.; <i>Theobroma cacao</i> L.	2	2/2	2/2		1/1	1/1		
espèces ligneuses fruitières	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Mangifera indica</i>	15	13/15	15/15	4/15	15/15	1/15	3/15	7/15
autres espèces ligneuses	<i>Securinega flexulosa</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	8	1/8		6/8	3/8	4/8	1/8	2/8
espèces herbacées alimentaires	<i>Xanthosomas sagittifolium</i> , <i>Discorea nimmularia</i>	2		2/2					
autres espèces herbacées	<i>Cycas circinalis</i>	1							1/1

Annexe6 : Tableaux simplifiés des usages du peuplement pour différents groupes structurels

GROUPE STRUCTUREL II2 (n= 2 parcelles, exploitants enquêtés)									
sous groupe	espèces les plus fréquentes	nombre d'espèce dans le sous groupe	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
espèces majeures*	<i>Cocos nucifera</i> L.; <i>Theobroma cacao</i> L.	2	1/2	2/2					
espèces ligneuses fruitières	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Citrus grandis</i> , <i>Pometia pinnata</i>	14	8/14	14/14	1/14	2/14			3/14
autres espèces ligneuses	<i>Securinega flexulosa</i> , <i>Hibiscus tillaceus</i> L.	6			4/6	4/6	3/6		
espèces herbacées alimentaires	<i>Musa spp.</i> , <i>Xanthosomas sagittifolium</i>	11	8/11	10/11					1/11
autres espèces herbacées	<i>Heliconia indica</i>	1					1/11		

GROUPE STRUCTUREL II3B (n= 2 parcelles, exploitants enquêtés)									
sous groupe		Nombre d'espèce dans le sous groupe	commercialisé	comestible	construction	combustible	artisanat/usage dans la vie quotidienne	apétable	coutumier et/ou médicinal
<u>espèces maieures*</u> (<i>Cocos nucifera</i> L. & <i>Theobroma cacao</i> L.)		2	2/2	2/2		1/2	1/2		
<u>arbres fruitiers</u> (<i>Artocarpus altilis</i> ; <i>Canarium indicum</i> L.; <i>Barringtonia edulis</i>)**		16	11/16	16/16	4/16	14/16		1/16	1/16
<u>autres arbres</u> (<i>Metroxylon warburghii</i> ; <i>Erythrina variagata</i> L. ex Stikman; <i>Phyllostachys</i>)**		6	1/6		5/6	3/6	2/6	1/6	1/6
<u>espèces herbacées alimentaires</u> (<i>Discorea nummularia</i> ; <i>Carica papaya</i> , <i>Musa spp.</i>)		6	2/6	6/6					
<u>autres espèces herbacées</u> (<i>Heliconia indica</i>)		1					1		

Annexe 7 : Architecture et biologie florale du cocotier (repérage de la palme 14)

L'architecture des cocotiers est très régulière et il existe un lien étroit entre l'architecture des cocotiers et leur biologie florale.

Le développement du cocotier en l'absence de stress environnementaux est continu et régulier. Environ tous les mois, une nouvelle palme apparaît. La couronne foliaire d'un cocotier adulte comporte une trentaine de palmes épanouies et fonctionnelles. Avant leur épanouissement, chacune des palmes subit une longue phase juvénile, suivie d'une phase rapide de croissance. Elle devient ensuite visible (palme de rang 0 ayant la forme caractéristique d'une « flèche ») puis s'épanouit enfin (palme de rang 1) et devient alors fonctionnelle.

La phyllotaxie des cocotiers est particulière : les palmes se répartissent sur 5 spires (figure). Chaque nouvelle palme épanouie porte le rang 1 décalant alors d'un rang toutes les autres palmes déjà en place. Chaque palme porte à son aisselle une inflorescence qui évoluera après fécondation des fleurs femelles en régime qui portera les noix (palme de rang 11). Le taux de régimes formés par an correspond au taux d'émission foliaire par an. La position des palmes sur les spires renseigne le stade de développement des fruits.



Dans de bonnes conditions, il faut environ 12 mois pour que la noix arrive à maturité. Le taux de nouaison est de 40 % et 10 à 15 fruits par régime arrive à maturité.

Annexe 8 : Modalités de la récolte « du coprah » sur les parcelles paysannes de cocotiers

Parler de « récolte de coprah » apparaît comme un double abus de langage, d'abord parce que c'est l'albumen (qui après séchage correspond au coprah) que l'on récolte sur les parcelles et ensuite parce que plutôt que récolté, l'albumen est « cueilli » *i.e.* prélevé dans les noix qui sont ramassées au sol.

L'opération de récolte du coprah consiste à regrouper les noix en tas, à les casser et à les décoquer (opération de récolte de l'albumen à l'intérieur de la noix). La récolte apparaît comme le facteur déterminant de la gestion de la parcelle. Cette opération est, selon la dispersion du parcellaire de la famille, réfléchie au niveau de la sole des parcelles cocotier. Elle représente l'essentiel voir l'unique travail à réaliser sur les cocotiers en production et est très exigeante en main d'œuvre. En général la récolte du coprah sur une parcelle est réalisée en une journée avec l'aide de la company (force de travail de 10 à 20 hommes). Il faut, après avoir regroupé les noix en tas, les casser puis décoquer l'albumen. Le plus souvent, ces opérations sont réalisées sous forme d'ateliers de quelques personnes (figure 1). Ces caractéristiques permettent de comparer la production de coprah à une activité de type cueillette.

En moyenne, le récolte de coprah a lieu au minimum trois fois par an, au mois de décembre-janvier (pic de production de coprah), juillet-août, et septembre-octobre. Le produit de la vente servant à payer les frais de scolarité (premier poste de dépense des ménages ni-vat). La fréquence de récolte peut cependant être réduite après le passage de cyclone (baisse de production des arbres) et/ou lorsque l'exploitant peut vendre des produits plus rentables. Ainsi l'augmentation des ventes de kava dans le sud de Santo s'accompagne d'une diminution de l'exploitation des cocoteraies.

L'intensité d'exploitation des cocoteraies dépend fortement du prix d'achat du coprah. Il existe une relation exponentielle entre la production et le prix d'achat lorsque celui-ci est supérieur à 23 000 VT la tonne (figure 2). Lorsque le prix d'achat arrive aux alentours de ce seuil, les exploitants disent ne laisser aucune « navaras » dans les plantations et parfois couper le coprah plus souvent.



Figure 1 : Le décoquage des noix :
La récolte de l'albumen pour la
fabrication de coprah

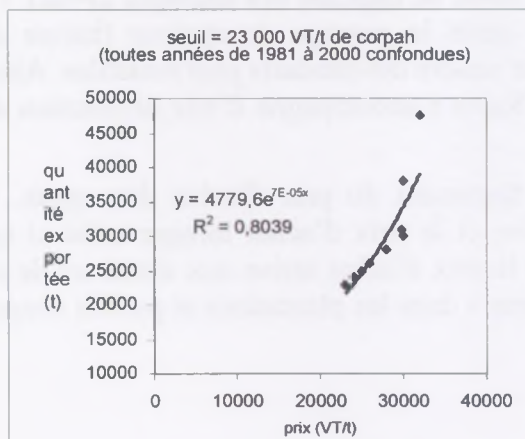


Figure 2 : Réponse exponentielle des
exportations au prix d'achat du coprah
(toutes années confondues 1981-2000) à
partir d'un prix seuil de 23 000 VT/t.

Annexe 9: Estimation de l'état nutritionnel des cocotiers méthode du diagnostic foliaire

a) Principe de la méthode :

La méthode du diagnostic foliaire a été mise au point pour gérer la nutrition minérale de plantations industrielles de palmiers à huile et de cocotiers en vue de maximiser, à moindre coût, la production de ces plantations. La méthode de gestion de la nutrition minérale repose sur l'association d'essais de fertilisation et d'enquêtes de diagnostic foliaire (Ochs, 1985).

Les essais de fertilisation déterminent des niveaux de références, dans des conditions agroécologiques et de gestion comparables à celles des plantations sur lesquelles seront réalisées les enquêtes de diagnostic foliaire. Ces niveaux de références correspondent à des doses optimales pour un objectif économique donné – le plus souvent optimisation financière (dans un contexte économique donné, les doses optimales sont les doses dont le moindre accroissement est juste compensé en valeur par l'augmentation de rendement correspondante). A cette dose optimale par élément, on fait correspondre des teneurs foliaires repères appelées niveaux critiques (Ochs, 1985).

Les enquêtes en plantation permettent de déterminer la teneur foliaire de chaque élément nutritif, ces teneurs sont alors confrontées au niveau critique pour juger et éventuellement corriger la nutrition minérale des cocotiers de la parcelle enquêtée.

Les niveaux critiques, notamment celui de l'azote, évoluent en fonction de l'âge des cocotiers (Ochs ; 1985). Un barème des niveaux critiques des teneurs en éléments minéraux dans la feuille 14 a été établi comme référence pour juger de l'état nutritionnel des cocotiers cultivés en grandes plantations dans les différents types de sols du Vanuatu (IRHO, 1992, tableau 1). Ce barème de niveaux critiques correspond à l'objectif de production des grandes plantation, à savoir production en coprah maximale à moindre coût. Dans cette étude, on a utilisé ce barème pour juger de l'état nutritionnel des cocotiers en plantations paysannes. Ce barème constitue un outil de diagnostic permettant, en y confrontant les teneurs foliaires déterminées sur les parcelles paysannes, de repérer un éventuel déséquilibre nutritionnel par rapport à un objectif de production maximale.

Tableau 1: barème des niveaux critiques des teneurs en éléments minéraux dans la feuille 14 des cocotiers cultivés en grandes plantations dans les différents types de sols du Vanuatu (extrait de IRHO, 1992)

Type de Sol	5 – 15 ans	15 ans
Sols de plateau		
N	2.000	1..800
P	0.130	0.120
K	0.800	0.88
Mg	0.200	0.200
Cl	0.400	0.400
Sols coralliens		
N	1.800	1.800
P	0.120	0.120
K	0.800	0.700
Mg	0.200	0.200
Cl	0.400	0.400

b) Evolution de l'état nutritionnel au cours du développement des cocotiers (tableau 7)

Sur sol de plateau en plantation paysanne (trajectoire agropastorale), l'état nutritionnel des cocotiers est convenable et ce quelque soit l'âge des cocotiers et l'élément considéré (tableau 2).

Tableau 2: état nutritionnel des cocotiers sur sol de plateau (SdCc1) : résultats du diagnostic foliaire.

Barème référence pour les cocotiers adultes (d'après IRHO, 1992)	Diagnostic foliaire (calcination double – teneurs en % de matières sèches)					
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cl %
	1,8	0,12	0,88		0,20	0,40
âge des cocotiers sur les parcelles paysannes						
8	1.66	0.14	0.94	0.38	0.33	0.49
8	1.78	0.13	1.14	0.40	0.23	0.42
20	1.74	0.14	1.29	0.35	0.18	0.80
21	1.67	0.14	1.15	0.34	0.22	0.72
35	1.74	0.14	0.98	0.48	0.25	0.84
35	1.64	0.14	1.31	0.43	0.23	0.88
42	1.79	0.15	1.33	0.38	0.17	0.87
45	1.80	0.14	0.66	0.45	0.32	0.73
46	1.78	0.15	1.42	0.41	0.16	0.88

On note l'absence générale d'effet « âge des cocotiers » quelque soit l'élément considéré, à l'exception du chlore pour lequel les teneurs des cocotiers les plus jeunes sont les plus faibles. Mais cet effet semble résulter plutôt d'une moindre exposition de ces parcelles aux embruns par rapport aux autres parcelles de la chrono séquence (voir la carte du positionnement des parcelles décrites dans cette étude: figure 3 dans la thèse) que de l'existence de phénomènes de compétition pour le chlore entre les jeunes cocotiers et les autres espèces constituant le peuplement de la parcelle composantes ; cultures vivrières (manioc, taro, ignames) et arbres de la jachère. Ollivier *et al.* (1994) ont mis en évidence une absence de relation entre les teneurs foliaires des jeunes cocotiers et les quantités de matières sèches exportées par les cultures intercalaires.

Les teneurs en azote mesurées sur les parcelles de Malo sont légèrement inférieures au niveau critique. Ses teneurs ne sont cependant pas jugées déficientes d'une part parce qu'aucun symptôme visuel de carence azotée n'a été observé et d'autre part parce que les teneurs en matières organiques moyennes ne constituent pas un facteur limitant la nutrition azotée des cocotiers sur ces parcelles. On a mesuré une teneur moyenne de 12% de matières organiques dans les 20 premiers cm de sol ce qui est jugé excellent pour la culture du cocotier (Manciot *et al.*, 1980) , et un rapport Carbone/Azote de 10 qui témoigne d'une très bonne minéralisation de ces matières organiques (Manciot *et al.*, 1980).

Les teneurs en phosphore sont bonnes par rapport au niveau critique, ce qui est cohérent avec la richesse du sol en phosphore assimilable (27 ppm en moyenne dans l'horizon 0-20 cm et 14.8 ppm dans l'horizon 20-35 cm) pour des teneurs moyenne en phosphore total de 3235 ppm dans l'horizon 0-20cm et 2415 ppm dans l'horizon 20-35cm).

Les teneurs en potassium sont également jugées bonnes par rapport au niveau critique, à l'exception de la teneur reportée pour la parcelle 112 (0.66) ; l'absence de symptôme visuel de carence potassique sur cette parcelle ne permet toutefois pas de conclure à une déficience. Les teneurs en Magnésium sont proches du niveau critique établi pour les sols de plateaux. Elles sont négativement corrélées avec les teneurs en potassium comme classiquement pour le cocotier (Manciot *et al.*, 1980) (figure 1)

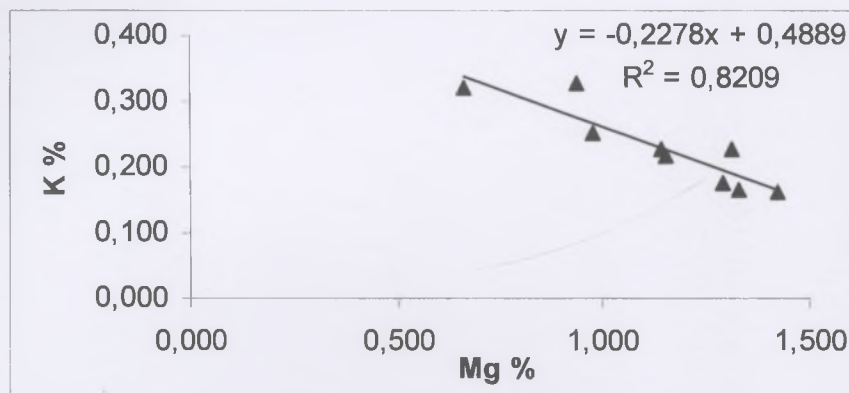


Figure 1: corrélation entre les teneurs en magnésium et en potassium (palme 14 des cocotiers - tous âges confondus, trajectoire agropastorale)

La nature corallienne du substrat assure une bonne nutrition calcique, le complexe d'échange étant massivement occupé par l'ion Ca^{2+} .

La persistance du bon état nutritionnel au cours du développement des cocotiers dans le système de culture paysan (trajectoire agropastorale), qui se caractérise notamment par l'absence de fertilisation minérale, permet de conclure que ce n'est pas l'apparition d'un déséquilibre nutritionnel limitant la production qui explique l'évolution de la production en coprah au cours du cycle des cocotiers. La richesse initiale du sol est très bonne pour la culture des cocotiers et les pratiques culturales mises en œuvre n'ont pas dégradé de manière significative cette richesse initiale.

Références :

IRHO (1992). Rapport d'activité 1991-1992. Archives de l'IRHO - CIRAD CP.

Manciot R., Ollagnier M. et Ochs R. (1980). Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. Oléagineux. 35 (Hors série): 1-55.

Ochs R. (1985). Stratégie de mise en œuvre du contrôle nutritionnel des plantes pérennes. Gestion de la nutrition minérale - Programmation des fumures. Oléagineux 40 (12) : 583-594.

Ollivier J., Daniel C. et Braconnier S. (1994). Cultures vivrières associées à de jeunes cocotiers, exemples au Vanuatu. Oléagineux 49 (3): 91-108.

Rapport-gratuit.com



LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe 10 : Exemple de calcul de la production d'une zone de jardin vivrier sur une parcelle paysanne de cocotiers en production

Exemple d'une parcelle de cocotiers, sur laquelle est implantée une zone de jardin de 596,58m². Les espèces cultivées dans cette zone de jardin, leurs densités et proportions au sol respectives sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Listes des Espèces cultivées dans la zone de jardin avec leur densité et proportions au sol respectives

Espèces	Nombre de pieds	Densité dans le jardin (pieds.m ⁻²)	Proportion au sol (%)
Ananas	66	0,1	50
Choux canaques	12	0,02	20
Laitues	47	0,08	12,5
Haricots	33	0,05	12,5
Oignons	95	0,016	5

Dans la bibliographie, on trouve pour chacune de ces espèces les références de productions moyennes et de temps de culture suivantes (tableau 2) ,

Tableau 2: Production moyenne et temps de culture des espèces cultivées dans la zone de jardin

Espèces	productions moyennes (kg.pieds ⁻¹):	temps de culture (mois)
Ananas	2	12
Choux canaques	0,5	Récolte tous les mois 6mois après la plantation
Laitues	0,3	2
Haricots	0,8	2
Oignons	**	

****Mais pas de données de productions pour les oignons dans les conditions locales.**

L'exploitant n'acceptant pas que l'on déterre quelques pieds arrivés à maturité, il ne sera pas possible d'estimer la production de cette espèce. Le rendement de la zone de jardins sera donc sous estimé car l'estimation de la production ne peut pas être effectuée pour l'ensemble des espèces cultivées.

Il est alors possible de calculer le rendement (rendement = densité * production moyenne/ temps de culture) puis la productivité (productivité = rendement * proportion au sol* surface du jardin) de chaque espèce dans la zone de jardin (tableau 3)

Annexe 10: Exemple de calcul de la production d'une zone de jardin vivrier sur une parcelle i paysanne de cocotiers en production

Tableau 3: Rendement et productivité des différentes espèces cultivées dans la zone de jardin

Espèces	Rendement (kg.m ⁻² .mois ⁻¹):	Productivité (kg.mois ⁻¹)
Ananas	0,016	4,77
Choux canaques	0,01	1,20
Laitues	0,012	0,89
Haricots	0,02	
Oignons	**	

La productivité corrigée pour prendre en compte le temps de culture de chaque espèce dans le jardin est alors calculé en multipliant la productivité de chaque espèce par un facteur correctif. La somme de la productivité corrigée de chaque espèce correspond à la productivité totale corrigée de la zone de jardin (tableau 4).

Le rendement de la zone de jardins est finalement obtenu en rapportant la productivité totale à la surface de la zone de jardin. Pour cette zone de jardin, implantée sur une parcelle de cocotiers en production, la productivité est d'environ 6 kg.mois⁻¹ (sachant que l'intégralité des espèces cultivées dans cette zone n'a pas pu être prise en compte dans ce calcul), ce qui correspondrait un rendement d'environ 1,2 t.ha⁻¹.an⁻¹.

Tableau 4: Facteur correctif et productivité corrigée pour prendre en compte le temps de culture de chaque espèce de la zone de jardin

Espèces	Facteur correctif	Productivité corrigée (kg.mois ⁻¹)
Ananas	12/12	4,77
Choux canaques	7/12	0,7
Laitues	2/12	0,14
Haricots	3/12	0,37
Oignons	**	
TOTAL		5,98

Annexe 11: Protocole et fichier paramètre pour le calibrage des maquettes architecturales de cocotiers Grands du Vanuatu (GVT)

1° Protocole

On a renseigné le jeu minimal de paramètres permettant de re-calibrer les maquettes architecturales pour des cocotiers Grands du Vanuatu de 6, 20 et 35 et pour des cocotiers hybrides (GVT*NRV) de 20. Les différents paramètres ont été déterminés à partir du protocole de mesure simplifié établi par Miallet-Sera et reproduit ci-dessous.

Liste des paramètres architecturaux (Fichier type de simulation)

Actually no-measured parameters

En rouge le jeu minimal de paramètres à renseigner pour re-calibrer les maquettes dans de nouvelles conditions.

Age	Years			
1- Trunk Height	Mean	std		
1- Trunk diameter	Mean	std		
Trunk projection	Mean	std		
Trunk azimuth	Mean	std		
Phyllotaxy	140.19	1.12		
Phyllotaxic direction	0			
2- Nb of green leaves	Mean	std		
3- C-point angle	P1	P2	P3	
Young modulus and conicity	70000	0.007		
Torsion of fronds	Mean	std		
4- Frond lenght	Mean	std		
4- Ratio Petiole/total frond lenght	Mean			
5- Nb of leaflets	Right	left	std	
6- Position of leaflets	P1	P2	1-P1-P2	
7- Lenght of leaflets (on the same side than the phyllotaxic direction)	mean of the longest leaflet lenght on this side	a	b	c
7- Lenght of leaflets (on the opposite side than the phyllotaxic direction)	mean of the longest leaflet lenght on this side	a	b	c
7- Area of leaflet	A	b		
8- Horizontal angle of leaflets	A	b	c	d
8- Vertical angle of leaflets	A	b	c	d
Lamina angle				

1- Hauteur des arbres

Hauteur du tronc est la hauteur à partir du sol au point C de la feuille 14 (sur au moins 10 cocotiers)

2- Nombre des feuilles vertes constitutives d'une couronne

(sur au moins 10 cocotiers)

3- Angle au point C

3.1- Observations

Ces mesures doivent être faites sur toutes les palmes accessibles de 5 cocotiers

Elles sont faites au moyen d'un clinomètre électronique positionné au point C, point d'insertion des premières folioles.

3.2- Traitement

Annexe 11 : Protocole et fichiers paramètres pour le calibrage des maquettes architecturales i de cocotiers Grands du Vanuatu (GVT)

Une fonction puissance est utilisée pour ajuster ces données:

$$(\text{angle au point C}) = (\text{rang})^{P_1} * (\text{rang} - P_2)/P_3$$

4- Longueurs des feuilles

4.1- Observations :

La longueur du pétiole et totale des feuilles sont mesurées sur au moins une dizaine de palmes vertes récoltées sur des cocotiers différents.

4.2- Traitement :

la moyenne et l'écart type sont calculés. La moyenne du rapport (Longueur du pétiole/Longueur totale) est calculée.

5- Nombre de folioles

5.1- Observations

Le nombre de folioles à droite et à gauche de palmes de rang 14 est noté sur les palmes précédentes.

N.B. pour déterminer le côté des palmes, il est nécessaire de se placer au dessus de la face supérieure des palmes. Le côté droit se trouve alors à la droite de l'observateur et le côté gauche à la gauche de l'observateur.

5.2- Traitement

Les moyennes pour chaque côté et l'écart type sont calculés.

6- Longueur et surface des folioles

7.1- Observations

La première, la dixième, la vingtième foliole avec une extrémité intacte etc sont échantillonnées après avoir noté leur rang et leur position par rapport au point C (distance entre la foliole et le point C). Leur longueur sont notée ainsi que leur largeur tous les 10 cm.

La longueur et le rang de la plus grande foliole sont également notés.

(sur le lot précédent de palmes vertes)

7.2- Traitements

- Les longueurs des folioles sont standardisées, i.e. divisées par la longueur de la plus longue foliole. Pour chaque côté de la palme, la longueur normalisée des folioles en fonction de leurs positions relatives est ajustée par une fonction sinusoïdale du type

$$(\text{Longueur standardisée}) = \sin(a + b \text{ pos}^c)$$

- Chaque foliole est divisée en n trapèzes dont le nombre dépendra de sa longueur totale. La surface des folioles est calculée à partir de la somme des surfaces de ces n-1 trapèzes et de son extrémité (trapèze n) (Tailliez et al., 1992). La surface d'une foliole est alors égale à:

$$A_i = (l_0 + l_1)/2 \times 10 + (l_1 + l_2)/2 \times 10 + \dots + (l_{n-1} + l_n)/2 \times L_n$$

$l_0, l_1, \dots, l_n$ sont les largeurs en centimètres

L_n est la longueur du dernier trapèze (n)

A_i est la surface de la foliole en cm².

Les surfaces des folioles ainsi estimée s'ajuste en fonction de leur longueur à une fonction puissance du type :

$$(\text{surface}) = a (\text{longueur})^b$$

Référence :

Mialet-Serra I. (2002). Descriptions architecturales du cocotier (*Cocos nucifera* L.) dans différentes conditions agroécologiques. Document de travail du CIRAD Amis n°65, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement CIRAD: 105 pp.

2° Résultats

Fichier paramètre pour les cocotiers GVT de 6 ans (Fichier P-84 2.dat)

Age	6			
Trunk Height	419.7	65.365		
Trunk diameter	31.87	1.96		
Trunk projection	10	5		
Trunk azimuth	60	90		
Phyllotaxy	140.19	1.12		
Phyllotaxic direction	0			
Nb of green leaves	25.1	2.6013		
C-point angle	1.23	59.79	-24.16	
Young modulus and conicity	70000	0.007		
Torsion of fronds	70	10		
Fronde length	550.9	28.391		
Ratio Petiole/total frond length	0.29980	0.0160		
Nb of leaflets	106.4	107.1	5.996	
Position of leaflets	0.58	0.938	-0.518	
Length of leaflets (on the same side than the phyllotaxic direction)	130.1	0.8541	2.237	0.741
Length of leaflets (on the opposite side than the phyllotaxic direction)	130.1	0.8541	2.237	0.741
7- Area of leaflet	0.8061	1.3000		
8- Horizontal angle of leaflets	147.62	-282.7	588.81	-453.81
Vertical angle of leaflets	133.76	-75.3	349.19	-274.36
Lamina angle	90			
Leaflet pas	10			
Diameter trunk basis	80			
Dry fronds number	0	0		
Bunch probability	0			

Fichier paramètre pour les cocotiers GVT de 22 ans (Fichier P-54 2.dat)

Age	22			
Trunk Height	1128.5	81.896		
Trunk diameter	31.87	1.96		
Trunk projection	10	5		
Trunk azimuth	60	90		
Phyllotaxy	140.19	1.12		
Phyllotaxic direction	0			
Nb of green leaves	35.3	3.44		
C-point angle	1.23	59.79	-24.16	
Young modulus and conicity	70000	0.007		
Torsion of fronds	70	10		
Fronde length	517.167	18.80		
Ratio Petiole/total frond length	0.274			
Nb of leaflets	108.834	109	6.71	
Position of leaflets	0.58	0.938	-0.518	
Length of leaflets (on the same side than the phyllotaxic direction)	135.167	0.6812	2.4604	0.568
Length of leaflets (on the opposite side than the phyllotaxic direction)	135.167	0.6812	2.4604	0.568
Area of leaflet	0.3763	1.4516		
Horizontal angle of leaflets	147.62	-282.7	588.81	-453.81
Vertical angle of leaflets	133.76	-75.3	349.19	-274.36
Lamina angle	90			
Leaflet pas	10			
Diameter trunk basis	80			
Dry fronds number	0	0		

Annexe 11 : Protocole et fichiers paramètres pour le calibrage des maquettes architecturales iii
de cocotiers Grands du Vanuatu (GVT)

Bunch probability	0			
-------------------	---	--	--	--

Fichier paramètre pour les cocotiers GVT de 35 ans (Fichier P-00 .dat)

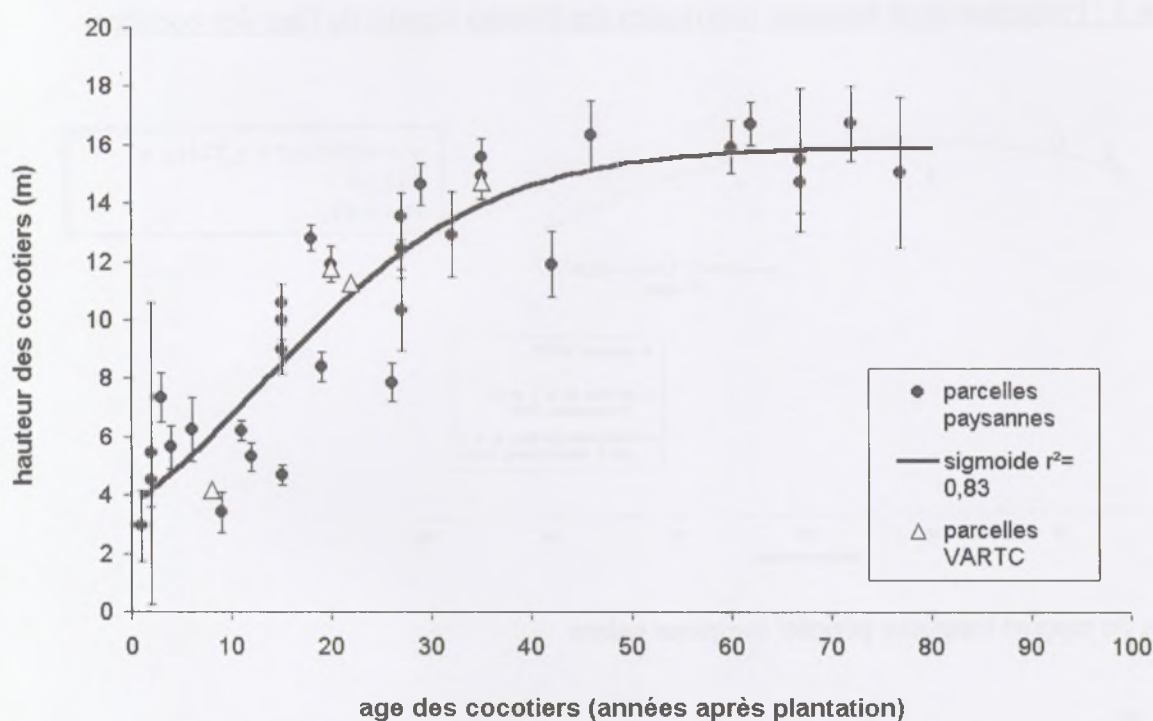
Age	35			
Trunk Height	1472	44.38		
Trunk diameter	31.87	1.96		
Trunk projection	10	5		
Trunk azimuth	60	90		
Phyllotaxy	140.19	1.12		
Phyllotaxic direction	0			
Nb of green leaves	28	2.738		
C-point angle	1.23	59.79	-24.16	
Young modulus and conicity	70000	0.007		
Torsion of fronds	70	10		
Fronde length	449.8	17.484		
Ratio Petiole/total frond length	0.25064			
Nb of leaflets	106.8	106.8	4.0865	
Position of leaflets	0.58	0.938	-0.518	
Length of leaflets (on the same side than the phyllotaxic direction)	122	0.4531	2.8260	0.6235
Length of leaflets (on the opposite side than the phyllotaxic direction)	122	0.4531	2.8260	0.6235
Area of leaflet	0.015325	2.1043		
Horizontal angle of leaflets	147.62	-282.7	588.81	-453.81
Vertical angle of leaflets	133.76	-75.3	349.19	-274.36
Lamina angle	90			
Leaflet pas	10			
Diameter trunk basis	80			
Dry fronds number	0	0		
Bunch probability	0			

Annexe 12 : Equations de prédiction des paramètres majeurs pour les maquettes architecturales de cocotiers GVT

Prédiction de la valeur des paramètres:

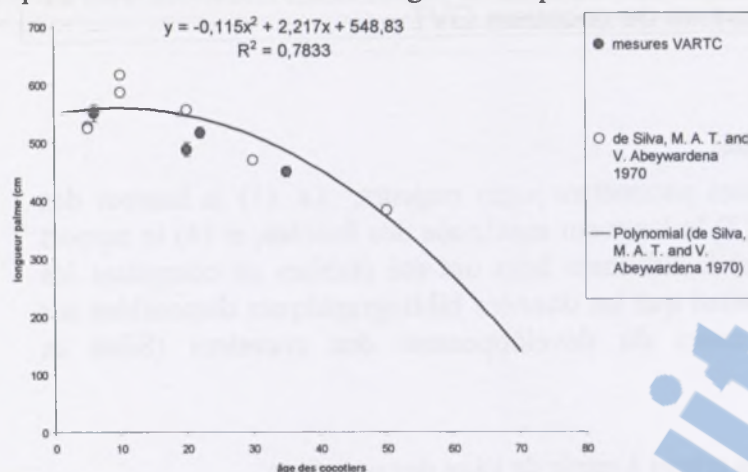
Des équations pour prédire la valeur des paramètres jugés majeurs, *i.e.* (1) la hauteur des cocotiers, (2) la longueur des palmes, (3) la longueur maximale des folioles, et (4) le rapport (longueur pétiole sur longueur palmes) à différents âges ont été établies en compilant les données mesurées au cours du travail ainsi que les données bibliographiques disponibles sur l'évolution de ces paramètres au cours du développement des cocotiers (Silva et Abeywardena, 1970).

Équation 1 : Prédiction de la hauteur des arbres à partir de l'âge des cocotiers



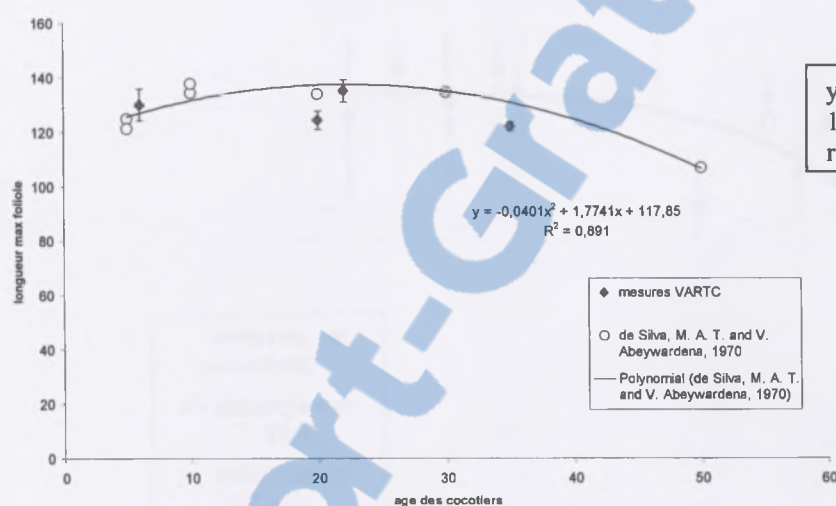
L'équation de prédiction de la hauteur du stipe des cocotiers en fonction de l'âge des cocotiers a été déterminée à partir des données mesurées sur les parcelles paysannes et en grande plantation (parcelles VARTC)

Equation 2 : Prédiction de la longueur des palmes en fonction de l'âge des cocotiers



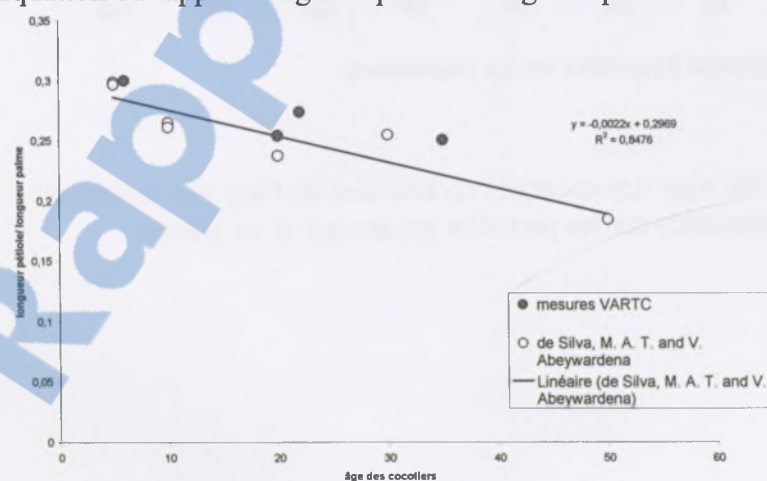
Longueur palme :
 $y = -0,115x^2 + 2,217x + 548,83$

Equation 3 : Prédiction de la longueur maximale des folioles à partir de l'âge des cocotiers



$y = -0,0401x^2 + 1,7741x + 117,85$
 $r^2 = 0,891$

Equation du rapport longueur pétiole/ longueur palme



$y = -0,0022x + 0,2969$
 $r^2 = 0,8476$

Référence :

Silva M.A.T. and Abeywardena, V. (1970) Leaf growth in relation to age and the bearing status of coconut palms. Ceylon Coconut Planters' Review. 6 (2): 59-62

Annexe 12 : Equations de prédiction des paramètres majeurs pour les maquettes architecturales de cocotiers GVT

Fichier paramètre pour la simulation de l'architecture de cocotiers GVT de 60 ans.

60,00				Age
1572,00	44,38			Trunk_Height
31,87	1,96			Trunk_diameter
10,00	5,00			Trunk_projection
60,00	90,00			Trunk_azimuth
140,19	1,12			Phyllotaxy
0,00				Phyllotaxic_direction
28,00	2,74			Nb_of_green_leaves
1,23	59,79	-24,16		C-point_angle
70000,00	0,01			Young_modulus_and_conicity
70,00	10,00			Torsion_of_fronds
300,00	17,48			Fronde_length
0,16				Ratio_Petiole/total_fronde_length
106,80	106,80	4,09		Nb_of_leaflets
0,58	0,94	-0,52		Position_of_leaflets
79,94	0,45	2,69	0,62	Length_of_leaflets
79,94	0,45	2,69	0,62	Length_of_leaflets
0,02	2,10			Area_of_leaflet
147,62	-282,7	588,81	-453,81	Horizontal_angle_of_leaflets
133,76	-75,3	349,19	-274,36	Vertical_angle_of_leaflets
90				Lamina_angle
10				leaflet_groups
80				diameter_of_trunk_basis
0	0			dry_fronds_number
0				proba_bunch

Annexe 13 : Exemple de fiche de mesure de l'encombrement racinaire sur les parcelles paysannes de cocotiers



Grille Latérale 1

	A	B	C	D	E
1	Coco 8 Pt (1,3 ; 1,0 ; 0,9 ; 1,1))	Coco (1 My (4,5) + 1 Pt (1,5))	Coco (2 My (1,8;; 2,5) + 7 Pt (0,6; 0,8; 0,6; 0,6)	Coco (7 Pt (0,4; 0,2; 0,6))	Coco (1 Gr (11,3) + 6 Pt (1,4;0,2; 0,3; 0,5))
2	Coco (3 Gr (9,0; 9,0; 9,2) + 3 Pt (1,2; 0,8; 0,5)	Coco (1 Gr* (7,0) + 5 gr (8,5; 5,5; 7,0; 9,2; 6) 3 Pt (0,9; 0,3; 0,4))	Coco (1 Gr* (12,0) + 5 Gr (7,6; 10,1; 5,8; 2,4; 8,2) 1 My (1,5) + 7 Pt (0,6; 0,6; 0,9))	Coco (2 Gr (8,8; 8,9) + 10 Pt (0,5; 0,6; 0,7))	Coco (1 My (1,5) + 6 Pt (0,3; 0,4; 0,5))
3	-	Coco (1 My* (4,2) + 1 Gr (5,8) + 2 Pt (1,1; 0,9))	Coco: 1 Gr (7,5)	Coco (1 My (1,5) + 3 Pt (0,4; 0,6; 0,8))	Coco (1 Gr (6,6) + 2 Pt (0,2; 0,6))
4	Coco (2 My (4,4; 3,1) + 3 Pt (0,4; 1,3; 0,5))	Coco: 1 Pt (1,0)	Coco: 1 Gr (11,9)	Coco: 1 Pt (0,3)	Coco (1 Gr (5,2) + 1 Pt (0,3))
5	Coco 2 My (4,41,2)	-	-	Coco (1 My (4,3) + 1 Pt (0,6))	Coco (1 My (2,0) + 2 Pt (0,2)
6	Coco (1 Pt (1,1))	Coco: 1 Pt (0,3)	Coco 3 Pt (0,1; 0,3; 0,2))	Coco: 1 Pt (0,5)	Coco: 1 Pt (0,1)
7	-	Coco: 1 Gr (10,5)	Coco (2 Pt (1,0; 0,5))	Coco 4 Pt (0,3; 0,3; 0,6))	-
8	-	-	Coco: 1 My (1,6)	-	-
9	-	Coco (1 My (1,3) + 1 Pt (0,3))	Coco: 1 Pt (1,0)	-	Coco (1 Gr (6,9))

Annexe 14 : Distinction des types de sols de l'île de Malo en fonction de leur coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge

Un échantillon de 160 prélèvements de sol a été constitué au cours de la caractérisation des systèmes de culture à base de cocotiers de l'île de Malo. Ces échantillons ont été préparés et passés au spectrophotomètre dans le proche Infra Rouge, selon le protocole décrit dans la thèse (chapitre III-3-4)

Une Analyse en Correspondance Principale (ACP) réalisées sur les coordonnées spectrales dans le proche Infra-rouge met en évidence trois types de sols différents (**figure 1**):

Un premier groupe, nettement individualisé, rassemble les échantillons prélevés sur sols de plateau. Un second groupe, moins bien différencié est constitué des échantillons prélevés sur sols de versant. A ce groupe sont associés certains échantillons prélevés sur sols de littoral. Le groupe « sols de littoral » est en effet composé de deux sous populations. Cette distinction est expliquée par l'hétérogénéité des sols de littoraux, une partie de ceux sols sont très sableux tandis que l'autre partie est plus riche en argile. C'est cette seconde catégorie qui se retrouve avec les sols de versant. Le positionnement géographique de ces échantillons, dans ou à proximité de zones de collusions confirme cette explication.

On a ensuite montré que les différences entre ces 3 types de sol étaient liées à la teneur de matière organique du sol (tableau).

	00-20 cm		20-35 cm	
	Moyenne %	Cv %	Moyenne %	Cv %
Plateau	12	20,5	5	25
Versant (littoral 2)	14	29	-	-
littoral	22,3	8	-	-

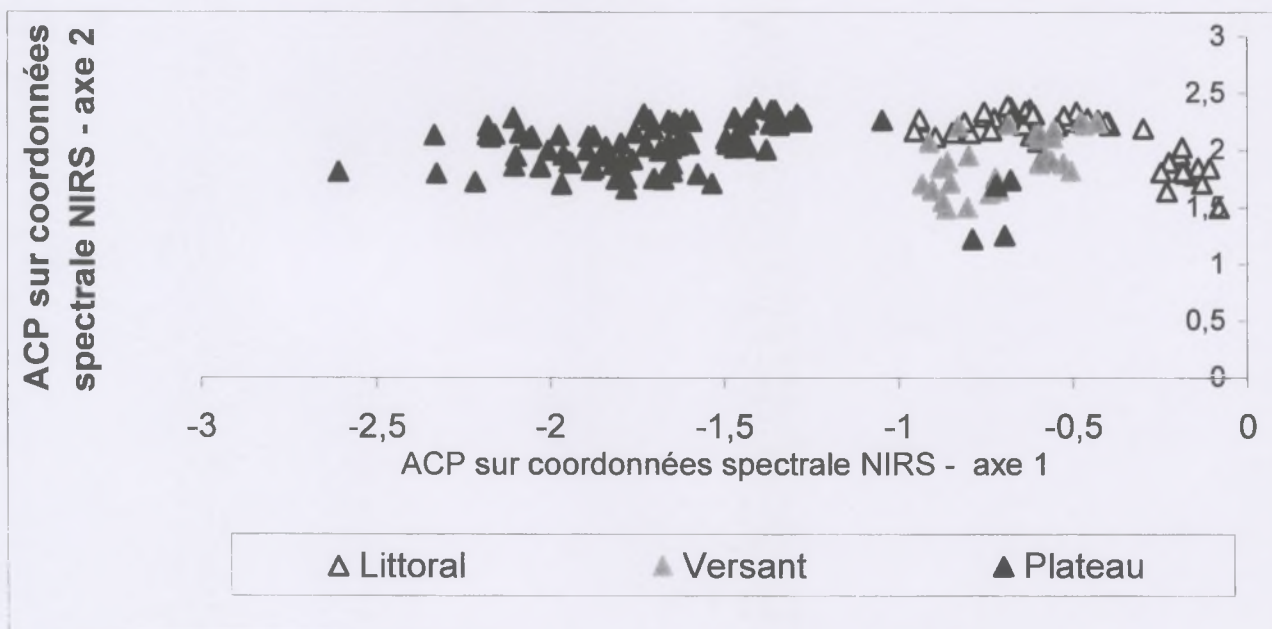


Figure 1: mise en évidence des différents types de sols de Malo à partir d'une ACP sur les coordonnées spectrales dans le proche infra-rouge (axe 1 et 2 : 96, 8 % de la variabilité)

Annexe 14 : Distinction des types de sols de l'île de Malo en fonction de leur coordonnées spectrales dans le proche infra rouge

Annexe 15 : Liste des principales espèces composant le couvert herbacé des parcelles paysannes de cocotiers sur l'île de Malo

Nom vernaculaire (tamanbo ou bishlama)	Nom latin	"famille botanique"	Nombre de parcelles où l'espèce représente plus de la moitié de la surface	caractéristiques de l'espèce
Buffalo Grass	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	graminée	85 / 153	Tolérance moyenne à sécheresse et hydromorphie bonne tolérance ombrage (Evans et al, 1992)
Minute miles	<i>Mikania micrantha</i>	Asteraceae	42 / 153	envahissante
Carpet Grass	<i>Axonopus spp.</i>	graminée	28 / 153	
gras nil	<i>Mimosa pudica</i>	légumineuse	26 / 153	
silver grass	<i>Desmodium</i>	légumineuse	22 / 153	
Herbe Kensly	<i>Oplismenus hirtellus</i>	graminée	19 / 153	espece d'ombre (Whistter, 1983)
Smol Lif Brum	<i>Sida accuta</i>	Malvaceae	18 / 153	espèce pérenne et ligneuse envahissante , peu apétable hormis avant lignification
Spermacoce	<i>Spermacoce assurgens</i>		18 / 153	
Big Lif Rop	<i>Merremia micrantha</i>		14 / 153	envahissante
T grass	<i>Paspalum conjugatum</i>	graminée	11 / 153	espèces d'ombre partielle à totale (bull3)
Lantana	<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	10 / 153	
Centro	<i>Centrosema pubescens</i>	légumineuse	09 / 153	sur sol fertile (Evans et al, 1992), resistance sécheresse moyenne, bonne résistance hydromorphie

Annexe 16 : Analyse de la composition minérale du sol des parcelles paysannes de cocotiers de Malo

	00 20 cm	20-35 cm
PH eau	6,67	6,69
Ca (meq/ 100g)	31,35	17,41
Mg (meq/ 100g)	6,76	4,48
K (meq/ 100g)	1,20	0,70
Na (meq/ 100g)	0,22	0,23
Plateau Mn (meq/ 100g)	0,04	0,04
H (meq/ 100g)	0,00	0,01
Somme cations échangeable (meq/ 100g)	39,53	22,82
Taux de saturation (%)	89,33	84,15
CEC (meq/ 100g)	44,03	27,08

	00 20 cm	20-35 cm
PH eau	6,74	7,27
Ca (meq/ 100g)	44,79	42,85
Mg (meq/ 100g)	7,20	4,20
K (meq/ 100g)	0,48	0,21
Na (meq/ 100g)	0,46	0,41
Versant Mn (meq/ 100g)	0,13	0,02
H (meq/ 100g)	0,00	0,00
Somme cations échangeable (meq/ 100g)	52,94	47,67
Taux de saturation (%)	89,48	88,40
CEC (meq/ 100g)	58,84	53,64

	00 20 cm	20-35 cm
PH eau	7,62	7,94
Ca (meq/ 100g)	46,35	32,34
Mg (meq/ 100g)	3,78	2,09
K (meq/ 100g)	0,28	0,14
Na (meq/ 100g)	0,23	0,18
Littoral 1 Mn (meq/ 100g)	0,00	0,00
(sableux) H (meq/ 100g)	0,00	0,00
Somme cations échangeable (meq/ 100g)	50,63	34,74
Taux de saturation (%)	91,06	96,32
CEC (meq/ 100g)	55,43	36,70

	00 20 cm	20-35 cm
PH eau	7,52	7,49
Ca (meq/ 100g)	51,67	45,25
Mg (meq/ 100g)	5,50	4,13
Littoral 2 K (meq/ 100g)	0,72	0,63
(alluvions Na (meq/ 100g)	0,39	0,36
et Mn (meq/ 100g)	0,00	0,00
piémont) H (meq/ 100g)	0,00	0,00
Somme cations échangeable (meq/ 100g)	58,27	50,37
Taux de saturation (%)	90,79	88,75
CEC (meq/ 100g)	64,04	56,46

Annexe 16 : Analyse de la composition minérale du sol des parcelles paysannes de cocotiers de Malo

